VISIT…

В. Г. САДОВСКИЙ

ОСНОВАНИЯ УСТРОЙСТВА МАТЕРИАЛЬНОЙ ЧАСТИ АРТИЛЛЕРИИ

ВОЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МИНИСТЕРСТВА ОБОРОНЫ СОЮЗА ССР
МОСКВА — 1956

ИНЖЕНЕР-ПОЛКОВНИК
В. Г. САДОВСКИЙ

ОСНОВАНИЯ УСТРОЙСТВА МАТЕРИАЛЬНОЙ ЧАСТИ АРТИЛЛЕРИИ

ВОЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МИНИСТЕРСТВА ОБОРОНЫ СОЮЗА ССР
МОСКВА — 1956

Инженер-полковник Садовский В. Г.

ОСНОВАНИЯ УСТРОЙСТВА МАТЕРИАЛЬНОЙ ЧАСТИ АРТИЛЛЕРИИ

Учебник написан применительно к программам артиллерийских специальных учебных заведений.

В учебнике изложены: краткий исторический обзор развития материальной части артиллерии; тактико-технические требования, предъявляемые к материальной части артиллерии; основания устройства орудийных стволов, казенников, затворов, орудийных лафетов, артиллерийских прицелов, минометного и реактивного вооружения; понятие о действии выстрела на танк (самоход).

Учебник предназначается для специальных учебных заведений; он может служить пособием для офицеров службы артиллерийского вооружения при изучении ими вопросов устройства, расчета и эксплуатации современных артиллерийских орудий.

ОТ АВТОРА

В учебнике имеются шесть разделов:

Раздел I. Краткий исторический обзор развития материальной части артиллерии. Тактико-технические требования, предъявляемые к материальной части артиллерии.

Раздел II. Основания устройства орудийных стволов, казенников и затворов.

Раздел III. Основания устройства лафетов.

Раздел IV. Прицельные устройства.

Раздел V. Минометное и реактивное вооружение.

Раздел VI. Понятие о действии выстрела на танк (самоход).

Весь материал в учебнике изложен без применения высшей математики. Некоторые вопросы изложены подробно с показом решения основных задач, чтобы дать возможность изучающим на примерах более углубленно изучать материал во время самостоятельной работы. Вычисления при решении примеров производились автором с помощью логарифмической линейки.

При написании учебника автору оказали большую помощь ценными замечаниями по материалу рукописи генерал-майор инженерно-артиллерийской службы Толочков А. А., кандидат технических наук, доцент инженер-полковник Куприянов А. Н., полковник Приходько С. А., инженер-полковники Нестеров А. Я. и Кириллов П. И. и преподаватели Ленинградского артиллерийского технического училища. Указанным товарищам автор выражает искреннюю благодарность.

Кандидат технических наук, доцент
инженер-полковник В. Г. САДОВСКИЙ

ПРЕДИСЛОВИЕ КО ВТОРОМУ ИЗДАНИЮ

В настоящее издание внесены уточнения и дополнения с учетом замечаний и пожеланий читателей.

Автор отмечает большую помощь со стороны специальной кафедры академии бронетанковых войск (инженер-полковников Малина и Таптун) и ряда товарищей, очень внимательно просмотревших учебник и давших свои замечания (инженер-полковники Скрылев, Цыпин и другие).

Особую признательность автор выражает доктору технических наук, профессору инженер-полковнику М. Ф. Самусенко, генерал-майору танковых войск В. Я. Никулину, кандидату технических наук, доценту инженер-полковнику Л. В. Сергееву, а также кандидату технических наук, инженер-подполковнику М. И. Фролову, который очень внимательно прочитал раздел «Понятие о действии на танк» и сделал ряд ценных замечаний.

В. Г. Садовский

РАЗДЕЛ ПЕРВЫЙ

КРАТКИЙ ИСТОРИЧЕСКИЙ ОБЗОР РАЗВИТИЯ МАТЕРИАЛЬНОЙ ЧАСТИ АРТИЛЛЕРИИ. ТАКТИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К МАТЕРИАЛЬНОЙ ЧАСТИ АРТИЛЛЕРИИ

ГЛАВА I

РАЗВИТИЕ МАТЕРИАЛЬНОЙ ЧАСТИ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ АРТИЛЛЕРИИ

§ 1. ВВЕДЕНИЕ

История возникновения и развития материальной части артиллерии как одного из видов вооружения научно обобщает опыт прошлого, указывает пути дальнейшего ее развития, позволяет установить наилучшие способы боевого использования, помогает правильно решать задачи создания новых образцов вооружения в современных условиях.

Вся история развития нашей отечественной артиллерии свидетельствует о независимости нашей Родины в деле создания и развития материальной части артиллерии и о способности нашего народа создавать самые совершенные образцы вооружения.

Знание истории развития материальной части отечественной артиллерии способствует росту советского патриотизма, прививает веру в несокрушимую мощь отечественного вооружения и помогает всему личному составу артиллерии мобилизовать все свои силы на дальнейшее усовершенствование вооружения, его боевого использования и эксплуатации в различных боевых условиях.

О современном состоянии вооружения Советских Вооруженных Сил СССР и их значении в защите нашей Родины Министр Обороны СССР Маршал Советского Союза тов. Жуков Г. К. сказал на XX съезде КПСС следующее:

«Будущая война, если ее развяжут, будет характеризоваться массовым применением военно-воздушных сил, разнообразного ракетного оружия и различных средств массового поражения, таких, как атомное, термоядерное, химическое и

бактериологическое оружие. Однако мы исходим из того, что новейшее оружие, в том числе и средства массового поражения, не умаляет решающего значения сухопутных армий, флота и авиации...

Благодаря постоянным заботам Партии и Правительства об обороноспособности нашей страны, Советские Вооруженные Силы коренным образом преобразованы и в качественном отношении далеко шагнули вперед от того уровня, на котором они находились в конце Великой Отечественной войны. Возросшие возможности советской экономики, прежде всего крупные достижения тяжелой промышленности, позволили перевооружить нашу армию, авиацию и флот первоклассной боевой техникой...

Советские Вооруженные Силы имеют теперь разнообразное атомное и термоядерное оружие, мощное ракетное и реактивное вооружение разных типов, в том числе ракеты дальнего действия...

В отношении артиллерии мы добились крупных успехов в ее качественном улучшении».

§ 2. ЗАРОЖДЕНИЕ РУССКОЙ ОГНЕСТРЕЛЬНОЙ АРТИЛЛЕРИИ И СОСТОЯНИЕ ЕЕ В XIV—XVI вв.

В течение долгого времени вооружение феодального общества мало отличалось от вооружения конца эпохи рабовладельческого общества, что объясняется медленным развитием техники при феодализме.

Новым типом вооружения в период развитого феодализма явилось огнестрельное оружие.

История появления огнестрельной артиллерии на Руси полностью еще не исследована. Генерал В. Г. Федоров на основе изучения исторических материалов установил, что в середине XIV в. Московское княжество уже имело огнестрельную артиллерию своей конструкции и своего производства. Распространение артиллерии в Западной Европе относится также к XIV в. Создание русской огнестрельной артиллерии произошло при великом князе Димитрии Донском (1359—1389 гг.).

Имеются документы, свидетельствующие о применении войсками Димитрия Донского огнестрельной артиллерии в 1382 г. при обороне Москвы от нашествия татар. Несмотря на исключительно тяжелые условия в период полуторавекового татарского ига, Россия не уступала Западной Европе в овладении огнестрельной артиллерией. Необходимо особо подчеркнуть, что в боях за освобождение Руси от татарского ига принимала участие мощная огнестрельная отечественная артиллерия.

Русские мастера очень быстро освоили производство артиллерийской техники. Самые первые артиллерийские орудия изготовлялись из железных кованых полос, свариваемых между

собой по длинным сторонам и скрепляемых железными кольцами (подобно деревянной цилиндрической бочке). Изготовленная железная труба с помощью железных хомутов укреплялась на деревянной колоде — примитивном лафете (рис. 1). Для запирания казенной части трубы изготовлялась

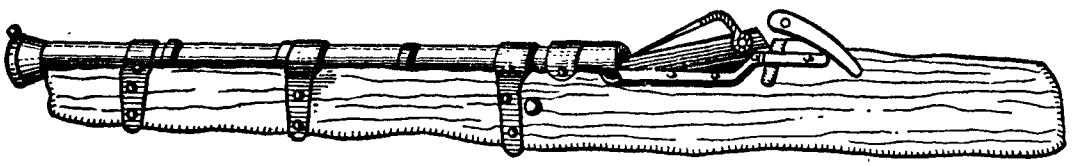


Рис. 1. Русское железное орудие XIV—XV вв. с отдельной зарядной каморой

отдельная крышка. Позже вместо крышки стали делать отдельную зарядную камору. Заряжались такие орудия с казны. Для воспламенения заряда в каморной части ствола делалось специальное отверстие малого сечения, заполнявшееся порохом. Стрелявший воспламенял этот порох с помощью железного прута с раскаленным концом или с помощью горящего фитиля, укрепленного на конце длинной палки. Наводка в цель производилась на глаз путем визирования по верхней образующей ствола, а затем с помощью целика и мушки.

Первые артиллерийские орудия по своей конструкции подходили ближе к минометам, чем к современным пушкам, гаубицам и мортирам. Орудия тогда стреляли каменными ядрами и кусками железа.

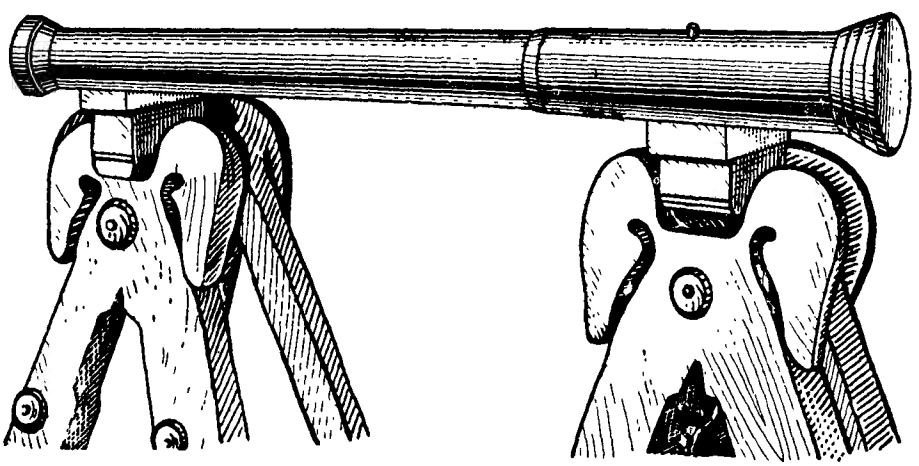


Рис. 2. Русская бронзовая пищаль XV в.

Установлено, что в России еще в XV в. было освоено производство двухслойных и трехслойных стволов, свариваемых из отдельных стальных полос. Известны также стволы, сваренные из коротких труб, изготовленных сваркой из полос.

В XV в. в России уже было освоено литье орудийных стволов из бронзы, железа, меди (рис. 2). При этом постепенно

отказались от отдельной зарядной каморы и перешли к заряжанию орудия с дула. Во всех орудиях были введены прицельные приспособления — целик и мушка. Центром производства орудий была Москва. В этом деле много инициативы и заботы проявил великий князь Иван III (1462—1505 гг.).

Высокого уровня развитие артиллерии в России достигло при Иване Грозном. Русские литейщики и кузнецы были отличными мастерами своего дела и создавали прочные орудия, не уступавшие по боевым свойствам орудиям иностранной артиллерии. Сохранившиеся образцы орудий в Артиллерийском историческом музее в Ленинграде наглядно подтверждают, насколько высок был уровень русской артиллерийской техники того времени.

Одним из замечательных исторических памятников XVI в., свидетельствующих о достигнутых успехах русских мастеров в области технологии производства орудий, является всем известная «царь-пушка», отлитая русским мастером А. Чоховым в 1586 г. Основные характеристики «царь-пушки»: калибр — 890 *мм*, вес — 39 000 *кг*, длина ствола — 5 *м* 41 *см*.

При Иване Грозном в 1547 г. впервые в мире была создана полковая артиллерия (в стрелецких полках). В Западной Европе эта артиллерия появилась с опозданием примерно на три четверти века.

Необходимо отметить большое значение для развития артиллерии в России государственного контроля над производством орудий.

В 1479 г. великий князь Иван III выстроил в Москве так называемую «Пушечную избу», где было сосредоточено производство орудий. Через десять лет это учреждение было расширено и стало называться «Пушечным двором».

Много было сделано в области создания большой производственной артиллерийской базы при Иване Грозном (уже в 1576 г. в войсках было 3000 орудий).

При Иване Грозном значительно возросло искусство стрельбы. Иностранные дипломаты, присутствовавшие на смотровых стрельбах в Москве, приходили в изумление и доносили своим правительствам о выдающемся искусстве стрельбы русских пушкарей и мощности русской артиллерии.

Для увеличения точности наводки был введен квадрант с отвесом (для вертикальной наводки).

Материальная часть артиллерии эпохи феодализма все же была примитивной. Орудия обладали сравнительно малой скорострельностью и недостаточной прочностью. Их дальнобойность и точность стрельбы были незначительны. Кроме того, было очень большое количество различных образцов орудий.

Орудия рассматриваемой эпохи, как правило, были гладкоствольные, а снаряды — шаровые (ядра, бомбы). Рас-

сеивание этих снарядов было большое. Кроме дымного пороха, других взрывчатых веществ артиллерия тогда не имела. Артиллерийская наука была еще в зачаточном состоянии.

Большую работу по систематизации артиллерийских знаний за первые два с половиной века существования артиллерии в России проделал русский ученый-артиллерист Онисим Михайлов (начало XVII в.). Он написал книгу под названием «Устав ратных, пушечных и других дел, касающихся до воинской науки». В этом сочинении Онисим Михайлов дал оригинальное решение ряда вопросов, относящихся к организации, устройству материальной части и боевому применению артиллерии.

§ 3. ПУТИ РАЗВИТИЯ МАТЕРИАЛЬНОЙ ЧАСТИ АРТИЛЛЕРИИ В XVI—XVIII вв.

Развитие материальной части артиллерии и повышение основных боевых свойств артиллерии в XVI—XVIII вв. шло по следующим направлениям:

1. Увеличение дальнобойности орудий и мощности действия снаряда:

а) увеличение калибра орудия (при сохранении типа снаряда) с соответствующим увеличением веса ядра;

б) увеличение длины стволов;

в) увеличение веса зарядов;

г) создание специальных разрывных снарядов осколочного и зажигательного действия.

2. Повышение меткости и кучности стрельбы:

а) введение однообразия в производстве орудий с принятием для каждого типа и калибра орудия определенной длины ствола и толщины его стенок;

б) создание чугунных ядер и установление их весов и размеров;

в) введение стволов с постоянной зарядной каморой (новая камора имела диаметр меньше калибра ядра, чем и определялось положение ядра в стволе);

г) установление определенных соотношений между весами ядер и боевых зарядов, между весом снаряда и весом ствола;

д) предварительное навешивание боевых зарядов и перевозка зарядов в индивидуальных мешках-картузах;

е) усовершенствование простейших прицельных приспособлений (целик и мушка, квадрант); составление и применение элементарных правил стрельбы;

ж) отливка стволов вместе с цапфами для однообразия и надежности соединения ствола с основанием — лафетом;

з) переход от лафета-колоды к колесным лафетам с элементарными приспособлениями, позволявшими придавать стволу различные углы возвышения.

3. Повышение маневренности в бою:

а) применение более высококачественных металлов для производства стволов, что позволяло получать прочный ствол при сравнительно тонких его стенках, т. е. ствол малого веса;

б) создание колесных лафетов и специальных зарядных ящиков для боеприпасов (вместо повозок);

в) создание лафетов с хоботом (станиной), облегчавшим перемещение и наводку орудия вручную и устранявшим опрокидывание орудия при откате его (хобот не имел сошника и при откате скользил по грунту);

г) приспособление артиллерии для перевозки цугом с целью увеличения скорости передвижения;

д) создание орудий различного назначения — крепостных, осадных, полевых и т. д.

4. Увеличение дальности прямого выстрела:

а) введение чугунных ядер;

б) увеличение заряда;

в) уменьшение зазора между ядром и стволом.

5. Увеличение гибкости огня:

а) введение лафетов с подъемными механизмами;

б) принятие переменного заряда;

в) введение на вооружение пушек, гаубиц и мортир.

6. Увеличение живучести артиллерии:

а) повышение прочности орудий (улучшение качества металла, соблюдение требуемых размеров ствола, лафета, увеличение точности изготовления орудий и снарядов);

б) увеличение дальности действительной стрельбы с целью опережения противника в открытии поражающего огня;

в) улучшение обслуживания артиллерии в бою.

7. Разработка новых типов орудий с повышенными баллистическими качествами.

О высоком уровне отечественной артиллерийской техники XVI—XVII вв. и оригинальности пути ее развития свидетельствует образец железной пищали XVII в. (рис. 3), хранящийся в Артиллерийском историческом музее.

В начале же XVII в. в России были изготовлены первые в мире образцы орудий с клиновыми затворами и с механическими приводами. Только через два с половиной столетия подобные образцы орудий начали изготовляться в Германии на заводах Круппа, причем пушечный фабрикант Крупп пытался выдавать эти орудия за свое изобретение.

К новым типам орудий XVIII в. относятся так называемые единороги [1], сконструированные М. В. Даниловым, А. К. Нартовым и С. А. Мартыновым. Из этих гладкоствольных орудий-

[1] Орудия назывались единорогами потому, что на стволах этих орудий имелась фигура животного с одним рогом. Такая фигура животного была изображена на фамильном гербе графа Шувалова, занимавшего в то время должность начальника артиллерии русской армии.

единорогов стреляли снарядами всех видов: картечью, ядрами, разрывными гранатами, зажигательными снарядами. По скорострельности, дальнобойности, маневренности и кучности боя единороги превосходили все другие существовавшие в то время системы. Боевые свойства этих орудий были проверены в Семилетней войне 1756—1762 гг.

Орудия типа единорогов были приняты на вооружение не только в русской армии. Многие европейские страны заимствовали для своих армий конструкцию единорогов как самых совершенных орудий того времени.

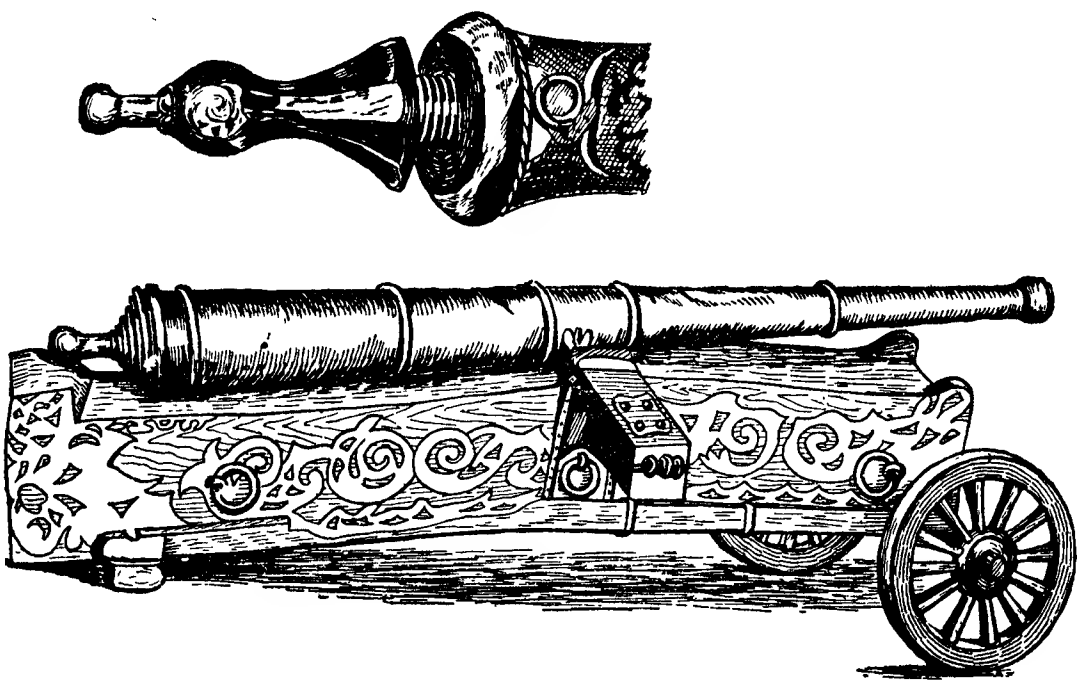


Рис. 3. Русская железная пищаль XVII в., заряжаемая с казны, с поршневым затвором

Для обеспечения быстрого роста артиллерии в XVIII в. в России были проведены общегосударственные мероприятия, к которым прежде всего относится разработка государством системы артиллерийского вооружения, соответствующей уровню производительных сил страны; при этом уничтожалось чрезмерное количество различных образцов орудий и сохранялись на вооружении наиболее совершенные образцы. В России наиболее удачная система вооружения была создана впервые при Петре I. Русские артиллеристы под руководством Петра I разработали системы калибров и типов орудий, организацию артиллерии, а также правила эксплуатации и применения артиллерии в бою.

Разгром шведов под Полтавой (1709 г.) убедительно свидетельствовал о силе русской артиллерии того времени.

При Петре I были значительно повышены маневренные свойства русской артиллерии и впервые в мире была создана

специальная конная артиллерия. Калибр орудий гладкоствольной артиллерии по системе, введенной Петром I, определялся не диаметром канала ствола, а весом снаряда в артиллерийских фунтах и пудах.

Единицей калибра — артиллерийским фунтом — считался вес сплошного чугунного шара (ядра) диаметром в два дюйма. Диаметр канала ствола был на $^1/_{29}$ часть больше диаметра ядра. Вес несплошного снаряда (бомбы) выражался в торговых пудах и равнялся $^2/_3$ веса ядра того же диаметра. Веса (q) снарядов различных калибров, но одинакового устройства, относились друг к другу как кубы диаметров (d)

$$\frac{q_1}{q_2} = \frac{d_1^3}{d_2^3}.$$

При Петре I была установлена строгая систематизация технологии всего производства вооружения и были построены крупные специальные заводы в различных пунктах страны. Кроме того, были созданы специальные артиллерийские школы. Первые такие школы по указанию Петра I были открыты в 1700—1701 гг. К 1700 г. относится также открытие существующего и в настоящее время Артиллерийско-технического училища, из стен которого выходят высокограмотные офицеры — артиллерийские техники.

Развитию русской артиллерии во многом способствовал основоположник русской науки М. В. Ломоносов. Он глубоко изучил всю имевшуюся литературу по артиллерии и разработал многие проблемы развития русской артиллерии.

Над развитием теории полета снарядов работали крупнейшие ученые — академики русской Академии наук со времени ее основания.

§ 4. КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА АРТИЛЛЕРИЙСКОГО ВООРУЖЕНИЯ КАПИТАЛИСТИЧЕСКИХ АРМИЙ ДО ВЕЛИКОЙ ОКТЯБРЬСКОЙ СОЦИАЛИСТИЧЕСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ (С КОНЦА XVIII в. ДО 1918 г.)

1. Развитие артиллерии в период с конца XVIII в. до 1914 г.

В конце XVIII в. и в начале XIX в. артиллерия развивалась сравнительно медленно, пока основное промышленное производство не сделалось крупным (рис. 4 и 5). Значительно быстрее она начала развиваться со второй половины XIX в.

Нарезная артиллерия, как более совершенная, стала быстро вытеснять гладкоствольную артиллерию, существовавшую до середины XIX в. Особенно быстро артиллерия стала совершенствоваться с конца XIX в. в связи с изобретением

бездымных порохов, орудийных сталей, противооткатных устройств и оптических прицелов, а также в связи с развитием научной теории стрельбы.

Первыми образцами нарезной артиллерии были русские пушки — пищали, появившиеся еще в XVI в. Подлинный образец нарезной пищали, изготовление которой относится к XVI в., имеется в Артиллерийском историческом музее в Ленинграде. Нарезные ружья также впервые появились в России (XVI в.).

Основные преимущества нарезной артиллерии следующие:

1. Снаряды, выброшенные из нарезного ствола, вращаются с большой скоростью вокруг своей оси и не опрокидываются на полете, благодаря чему обеспечивается малое отклонение снарядов от средней траектории, т. е. стрельба отличается большой кучностью.

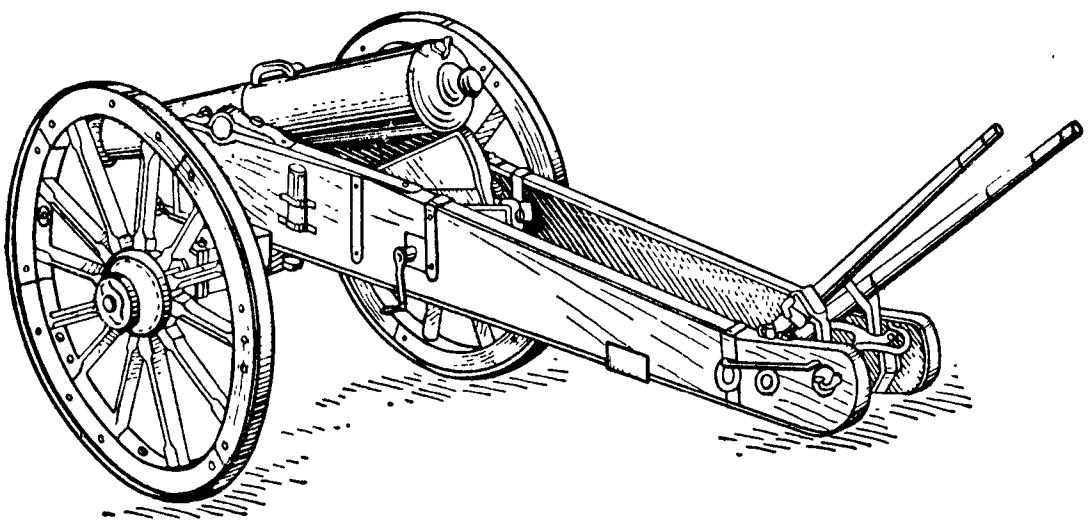


Рис. 4. Русская 12-фунтовая пушка обр. 1838 г. в боевом положении

2. Дальность стрельбы продолговатыми вращающимися снарядами в несколько раз больше дальности стрельбы ядрами при одинаковых весах снарядов и начальных скоростях. Это различие дальностей стрельбы объясняется двумя причинами:

а) продолговатые снаряды по сравнению с ядрами имеют удобообтекаемую форму, что приводит к уменьшению сопротивления воздуха на одну и ту же площадь поперечного сечения летящего снаряда;

б) продолговатый снаряд имеет меньшее поперечное сечение по сравнению с шаровым снарядом равного веса, т. е. поперечная нагрузка у продолговатого снаряда больше, чем у шарового, что также приводит к уменьшению сопротивления воздуха.

3. Вес и объем продолговатого снаряда могут быть значительно больше веса и объема шарового снаряда при одном и том же калибре, что особенно важно для получения более мощного снаряда при небольшом калибре.

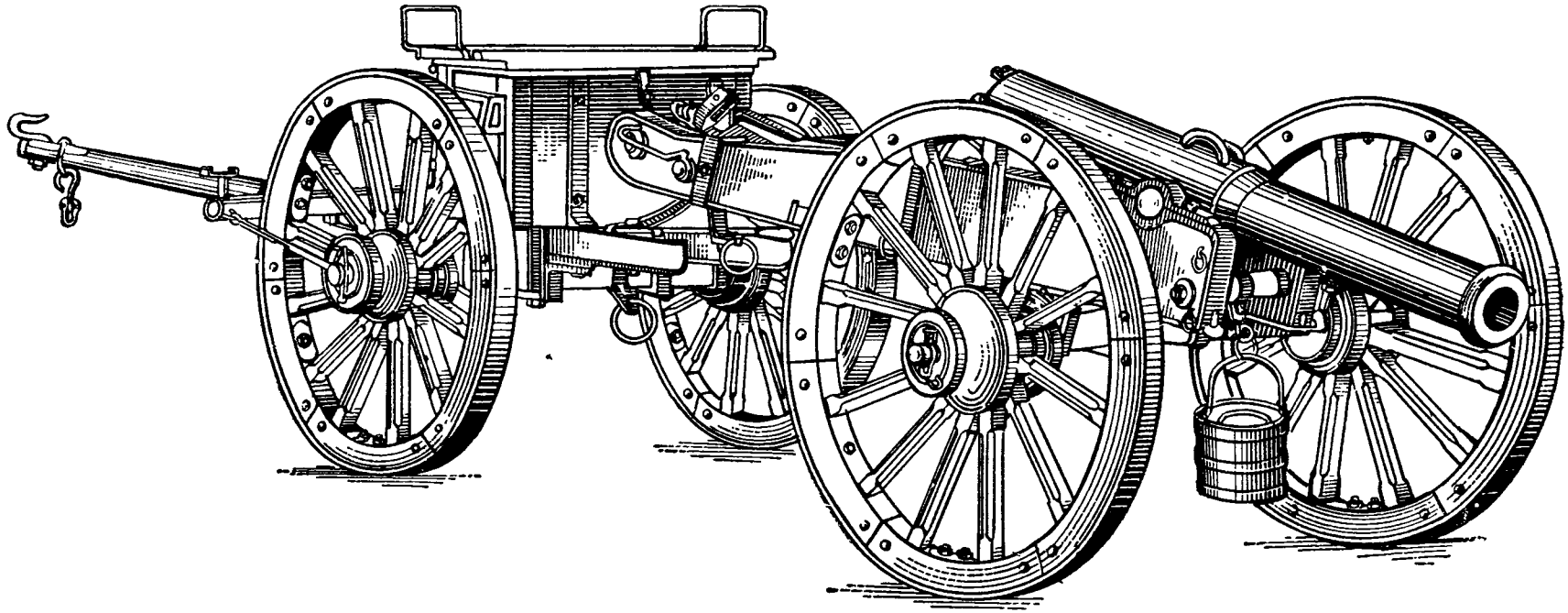


Рис. 5. Русская 6-фунтовая пушка обр. 1845 г. с передком (походное положение)

После войны 1853—1855 гг. все европейские армии перешли к нарезной артиллерии. Сначала, с 1860 г., в русской армии стали вводить нарезные орудия, заряжаемые с дула, при этом нарезали стволы имевшейся гладкоствольной артиллерии. В 1863 г. в России нарезные орудия составляли 25% общего числа орудий. Затем перешли к нарезным орудиям, которые заряжались с казны и имели клиновые затворы.

Полное перевооружение полевой артиллерии России нарезными орудиями, заряжаемыми с казны и имевшими клиновые затворы, закончилось в 1867 г.

Нарезная артиллерия в широких масштабах была введена на вооружение основных армий Западной Европы также во второй половине XIX в.

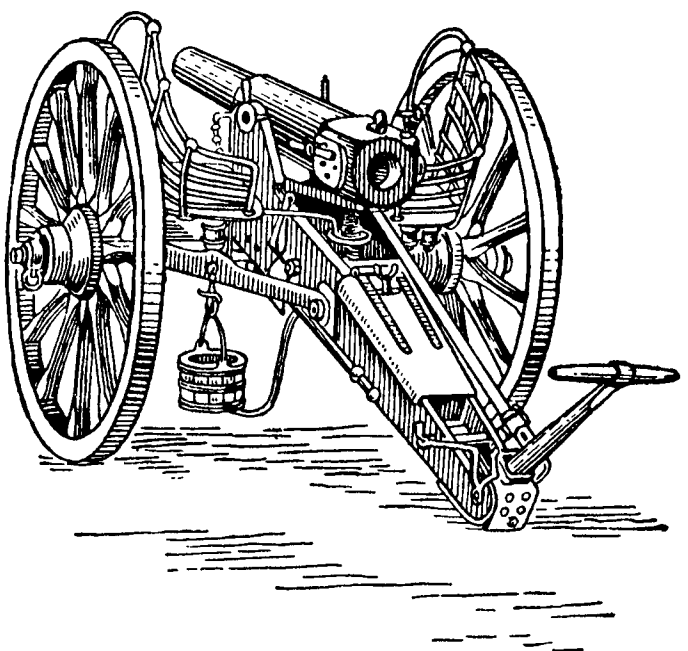


Рис. 6. Русская полевая пушка обр. 1877 г.

1867

Для стрельбы из нарезных орудий, заряжавшихся с дула, сначала применялись снаряды с готовыми нарезами или с ведущими выступами. Затем, когда перешли к стрельбе из орудий с затворами, стали применять снаряды, имеющие оболочки из мягкого металла или ведущие медные пояски.

Русские ученые и конструкторы проделали большую работу по усовершенствованию материальной части артиллерии и в короткий срок добились выдвижения русской артиллерийской техники на первое место в мире. Сначала были созданы системы орудий образца 1867 г., а затем образца 1877 г. (рис. 6 и 7).

Качественный рост материальной части русской артиллерии XIX в. можно видеть по данным табл. 1, в которой приведены характеристики основных образцов орудий.

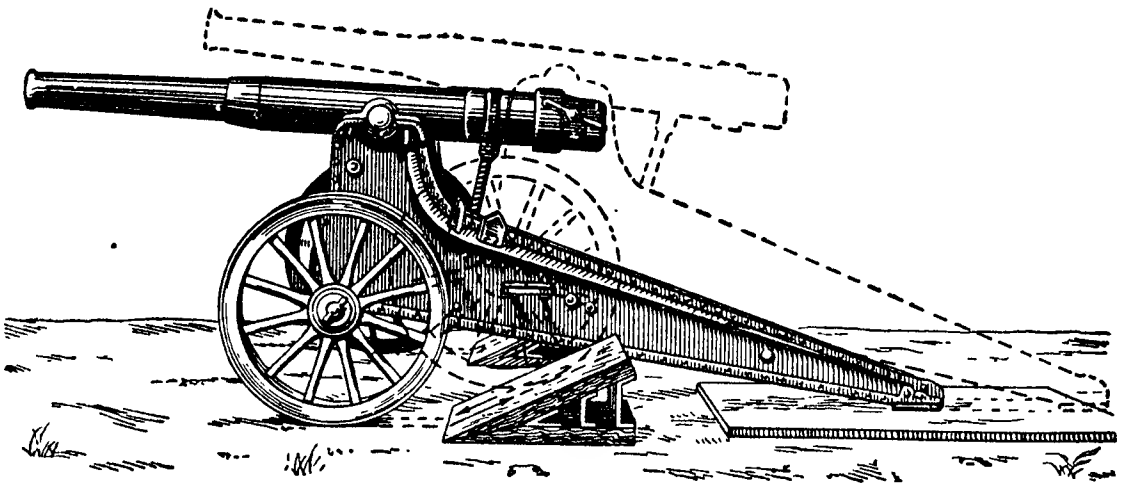


Рис. 7. Русская 152-*мм* осадная пушка обр. 1877 г. (лафет системы Энгельгардта)

Таблица 1

Качественный рост русской артиллерии XIX в.

Название орудия	Калибр *мм*	Вес снаряда *кг*	Начальная скорость *м/сек*	Наибольшая дальность стрельбы *м*
Гладкоствольные орудия середины XIX в.				
6-фунтовая полевая легкая пушка	95	2,5	472	1100
12-фунтовая батарейная пушка	120	5	477	1300
24-фунтовая осадная пушка . .	152	9,84	527	4000
Нарезные орудия обр. 1867 г.				
4-фунтовая пушка	87	5,7	305	3400
9-фунтовая пушка	107	11,1	320	4480
Нарезные орудия обр. 1877 г.				
Полевая легкая пушка	87	6,65	445	6470
Батарейная пушка	107	12,5	370	5530
42-линейная осадная пушка . .	107	16,4	515	8750
6-дюймовая осадная пушка весом 190 пудов	152	32,7	455	8960

При переходе к заряжанию орудий с казны потребовалось введение специальных обтюраторов, исключающих возможность прорыва газов через затвор.

Заряжание с казны позволило значительно повысить скорострельность орудий.

Быстрое развитие нарезной артиллерии стало возможным с развитием металлургии орудийных сталей, с созданием скрепленных стволов, стальных лафетов, бездымных порохов и с изобретением противооткатных устройств. Все это позволило увеличить дальнобойность, скорострельность, маневренность, могущество действия снаряда и дальность прямого выстрела (в два раза и больше).

Большую роль в деле повышения скорострельности сыграло введение упругого лафета с противооткатными устройствами, унитарного патрона с латунной гильзой и специального затвора (изобретения русского конструктора В. С. Барановского). Кроме того, были введены каучуковые буферы-рессоры у зарядных ящиков и передков орудий, что повысило маневренность артиллерии (с 1877 г.). Были созданы более совершенные механизмы вертикальной наводки, что обеспечило быстроту наводки и увеличило ее точность. Введение зерненых порохов обеспечило определенную закономерность горения заряда (профессора А. В. Гадолин и Н. В. Маиевский в 1868 г. предложили призматические зерна с семью каналами).

Были введены также воспламенительные пороховые трубки терочного и ударного действия для воспламенения боевого заряда; для этой же цели применялись электрические трубки. Все это увеличивало скорострельность и создавало безопасность обслуживания.

В деле повышения эффективности стрельбы большое значение имело введение на вооружение оптических прицелов — телескопических к пушкам Барановского с 1875 г. и панорамных во всей полевой артиллерии с 1906 г. Большое значение имело также введение специальных взрывателей и дистанционных трубок (с последней четверти XIX в.).

Высокое качество русской артиллерии, достигнутое во второй половине XIX в., непрерывно повышалось до начала первой мировой войны. В этот период был создан ряд новых систем орудий — 76-*мм*, 107-*мм*, 122-*мм*, 152-*мм* и др.

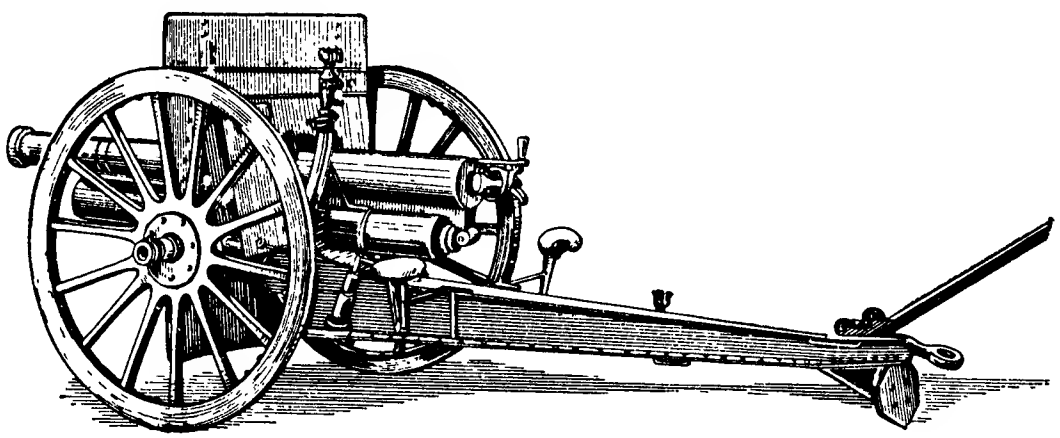


Рис. 8. Русская 76-*мм* (3-дюймовая) полевая пушка обр. 1902 г.

Русская 76-*мм* полевая пушка обр. 1902 г. (рис. 8) была одним из совершеннейших орудий начала первой мировой войны. Полевые пушки Германии (77-*мм*) и Австро-Венгрии (76,5-*мм*) значительно уступали по своим боевым свойствам русской 76-*мм* пушке обр. 1902 г. (см. табл. 2).

Таблица 2

Основные характеристики полевой легкой артиллерии России и ее бывших противников — Германии и Австро-Венгрии в 1914 г.

Наименование орудия	Вес снаряда *кг*	Начальная скорость *м/сек*	Наибольшая дальность стрельбы *м*
Россия			
76-*мм* пушка обр. 1902 г. . . .	6,5	588	8500
122-*мм* гаубица обр. 1909 г. . .	23,3	335	7700
Германия			
77-*мм* пушка обр. 1896/06*NA*[1]	6,85	465	7800
105-*мм* гаубица обр. 1909 г. . .	15,7	295	7000
Австро Венгрия			
76,5-*мм* пушка обр. 1905 г. . . .	6,68	500	7000
104-*мм* гаубица обр. 1899 г. . .	14,7	290	6100

Данные табл. 2 наглядно показывают значительное качественное превосходство легкой полевой артиллерии России по сравнению с артиллерией противника.

Основные итоги развития нарезной артиллерии за период со второй половины XIX в. до начала первой мировой войны выражались в следующем:

а) увеличилась дальность стрельбы полевой артиллерии с 1 *км* до 8—12 *км*;

б) увеличился вес снаряда (при сохранении калибра) в 3—4 раза;

в) увеличилась скорострельность в 10—20 раз;

г) значительно сократились случаи разрыва стволов (увеличилась прочность стволов) при высоком качестве боеприпасов и правильной эксплуатации орудий;

д) увеличилась меткость и кучность стрельбы в 10 раз и более.

Необходимо особо отметить ведущую роль русских ученых и конструкторов в деле развития всех отраслей артиллерийской

[1] Германская пушка обр. 1896 г. не была скорострельной. В 1906 г. ее ствол был наложен на новый лафет (упругий), после чего она стала называться 96/06 *NA* (Neuer Art).

науки и техники. В этом отношении исключительная заслуга принадлежит профессорам артиллерийской академии, созданной в России в 1820 г., — Маиевскому Н. В., Гадолину А. В., Забудскому Н. А., Чернову Д. К., Шишкову Л. Н., Дурлях ову Р. А. и многим другим. Орудия образцов 1867 г. и 1877 г. целиком были спроектированы русскими учеными-артиллеристами: Маиевским Н. В., Гадолиным А. В. и Энгельгардтом А. П.

Настоящий переворот в артиллерийской технике совершил В. С. Барановский — изобретатель противооткатных устройств и скорострельных орудий.

В 1872 г. В. С. Барановский предложил образец легкого скорострельного орудия для конной артиллерии. В 1875 г. он сконструировал 2,5-дюймовую скорострельную горную пушку, которая после тщательных испытаний была одобрена военным ведомством. Для морского министерства В. С. Барановский сконструировал десантную пушку такого же калибра. Этим было положено начало развитию скорострельной артиллерии.

В орудиях своей системы В. С. Барановский применил поршневой затвор с самовзводящимся пружинным ударником и специальный предохранитель для предотвращения преждевременного выстрела при не вполне закрытом затворе. Кроме того, В. С. Барановский применил подъемный и поворотный механизмы, а также гидравлический тормоз отката и пружинный накатник. Благодаря этим приспособлениям значительно ускорились наводка орудия в цель и восстановление наводки после выстрела. Введение же унитарного патрона, разработанного В. С. Барановским, ускорило процесс заряжания. Все это способствовало повышению скорострельности орудия.

2. Развитие артиллерии за время первой мировой войны (1914—1918 гг.)

Первая мировая война началась в 1914 г. после многолетней подготовки к ней всех великих держав. Особо тщательно готовились к этой войне Германия и Австро-Венгрия.

Все армии готовились в основном к маневренной и непродолжительной войне. Главнейшей задачей артиллерии в большинстве стран считалась поддержка огнем легкой полевой артиллерии своей пехоты, идущей в атаку или контратаку. На выполнение этой задачи в основном и планировался расход боеприпасов.

К началу первой мировой войны ни Англия, ни США не имели многочисленной артиллерии, так как правительства этих государств рассчитывали на ведение войны чужими руками.

Наибольшее количество орудий имела Германия — всего 9388 орудий различных калибров.

Преобладающее количество войсковой артиллерии в главнейших странах, участвовавших в войне, составляли легкие полевые пушки калибра 75—77 *мм*. Наибольшее количество орудий полевой тяжелой артиллерии было в германской армии (1396 орудий).

Россия к началу войны имела всего 7030 орудий. Сюда входили 76-*мм* легкие полевые пушки (6278 шт.), 122-*мм* легкие полевые гаубицы (512 шт.), 155-*мм* полевые тяжелые гаубицы (164 шт.) и 107-*мм* полевые тяжелые пушки (76 шт.).

Средняя предельная дальность стрельбы легкой артиллерии составляла 8 *км*, тяжелой — 12 *км*.

В России для действия против крепостей, кроме 107-*мм* и 152-*мм* тяжелых орудий, были приспособлены еще тяжелые береговые пушки (с досягаемостью до 28,8 *км*) и мортиры (с досягаемостью до 8,7 *км*).

Материальная часть русской войсковой артиллерии к началу войны 1914 г. была более современной, чем в армиях других государств. Все основные образцы русской артиллерии были отечественной конструкции.

Обладавшая весьма высокими боевыми качествами 76-*мм* полевая пушка обр. 1902 г. почти 30 лет состояла на вооружении и не подвергалась никаким изменениям.

Орудия всех воевавших стран к началу первой мировой войны имели лафеты без раздвижных станин с малым горизонтальным углом обстрела (около $\pm 2{,}5°$).

Для передвижения артиллерии во всех армиях применялась преимущественно конная тяга.

Минометов к началу войны 1914 г. в России на вооружении еще не было, хотя разработанные образцы их уже имелись. Еще в 1904 г. первые минометы, изобретателями которых были мичман Власьев С. Н. и капитан Гобято Л. Н., успешно применялись при обороне Порт-Артура.

С самого начала военных действий в армиях, воевавших против немцев, обнаружился недостаток в дальнобойной тяжелой артиллерии. Кроме того, с начала же войны все армии стали испытывать острый недостаток в снарядах. В связи с переходом к позиционной войне и появлением на полях сражений мощных оборонительных сооружений во всех странах стали спешно проводиться мероприятия по налаживанию производства в большом количестве тяжелой артиллерии и боеприпасов.

Одновременно с количественным ростом артиллерии наблюдался ее качественный рост вследствие модернизации состоявших на вооружении образцов орудий.

Быстрый рост боевой авиации вызвал необходимость создания специальной зенитной артиллерии. Ввиду сложности производства специальных зенитных пушек для борьбы с авиацией сначала широко применялись обычные полевые скоро-

стрельные пушки, установленные на примитивных приспособлениях (деревянных станках). Первое зенитное орудие в России было изобретено в начале 1912 г. и изготовлено к 1914 г. коллективом инженеров и рабочих Путиловского завода. Это орудие отличалось оригинальностью конструкции и обладало высокими боевыми свойствами. Принятая на вооружение в 1914 г. 76-*мм* зенитная пушка обр. 1914 г. представляла собой самоходную установку (орудие было установлено на автомобиле). Эта пушка поступила на вооружение первых зенитных батарей, сформированных в марте 1915 г.

Появление в конце войны нового средства борьбы — танков — потребовало создания нового вида артиллерии — противотанковой.

В условиях затянувшейся позиционной войны потребовалась траншейная артиллерия ближнего боя — минометы и бомбометы. Бомбометы оказались мало эффективными и постепенно были сняты с вооружения.

В 1917 г. в русской армии на вооружении состояло около 5000 минометов.

3. Общие выводы по развитию артиллерии за время первой мировой войны

1. Во время войны выявилась колоссальная огневая мощь артиллерии, способность ее остановить, расстроить и уничтожить наступающего противника и разрушить его любые оборонительные сооружения.

Особенно возросло значение тяжелой артиллерии как решающего средства прорыва укрепленной полосы противника. Выявилась необходимость иметь большое количество орудий и боеприпасов.

2. С появлением авиации и танков потребовалось создание специальных видов артиллерии: зенитной, авиационной, танковой и противотанковой. Это резко увеличило общую численность артиллерии.

3. В условиях позиционной войны и в связи с применением боевых химических средств появилась необходимость в траншейной артиллерии (малокалиберные пушки, минометы, бомбометы). Это было самое дешевое и простое средство поражения противника на малых дальностях

4. Для обеспечения большей подвижности и меньшей уязвимости артиллерии на поле боя стали переходить на механическую тягу.

5. Выявилась возможность значительно повысить боевые качества артиллерии за счет переделки существующих образцов орудий (модернизация).

Усовершенствование артиллерийских систем, направленное на повышение их боевых качеств, в основном заключалось в следующем:

а) дальнобойность повышалась для дивизионных пушек до 10—12 *км* и для дивизионных гаубиц до 10 *км* за счет введения снаряда дальнобойной (обтекаемой) формы, увеличения угла возвышения, удлинения ствола, принятия мощных порохов, увеличения заряда;

б) гибкость огня (маневр траекториями без перемены огневых позиций) повышалась за счет увеличения углов горизонтального и вертикального обстрела, чему способствовало принятие на вооружение армий в большем количестве гаубичных орудий;

в) подвижность артиллерии повышалась благодаря переходу на механическую тягу;

г) могущество отдельного выстрела повышалось за счет развития в первую очередь тяжелой артиллерии;

д) скорострельность повышалась благодаря введению на вооружение автоматических пушек.

§ 5. КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СОВЕТСКОЙ АРТИЛЛЕРИИ В ПЕРИОД ИНОСТРАННОЙ ВОЕННОЙ ИНТЕРВЕНЦИИ И ГРАЖДАНСКОЙ ВОЙНЫ 1918—1922 гг.

Во время гражданской войны и борьбы с иностранными интервентами на вооружении Советской Армии были главным образом орудия старой русской армии. Артиллерия Советской Армии быстро вооружалась за счет восстановления старой материальной части, за счет использования трофеев, а также за счет производства новых орудий.

Весной 1919 г. в Советской Армии на фронте было 2000 орудий.

С первых дней гражданской войны наша Коммунистическая партия уделяла особое внимание правильному использованию имевшихся образцов орудий, модернизации артиллерии и созданию новых образцов. На должную высоту была поставлена работа Артиллерийской академии и Артиллерийского комитета ГАУ.

Создавались новые бронепоезда, бронеавтомобили, подвижные железнодорожные установки, танки.

В то время, когда шла гражданская война, лучшие советские ученые — Трофимов, Жуковский, Ветчинкин, Крылов и другие — по заданию Коммунистической партии и Советского правительства решали сложнейшие теоретические и практические вопросы в области развития советской артиллерийской науки и техники. Советская артиллерийская наука с первых лет существования советской власти стала самой передовой в мире.

Во всех сражениях гражданской войны советская артиллерия наносила врагу огромные потери. Она сыграла важную роль в деле победы Советской Армии.

§ 6. КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СОВЕТСКОЙ АРТИЛЛЕРИИ В ПЕРИОД СТРОИТЕЛЬСТВА СОЦИАЛИЗМА В СССР

1. Советская артиллерия в 1930 г.

После окончания гражданской войны и восстановления промышленности главное внимание в деле развития советской артиллерии было уделено модернизации существующих образцов, так как важно было возможно быстрее и без особых затрат перевооружить армию.

Модернизация артиллерии Советской Армии была закончена в 1930 г. Результаты этого мероприятия показаны в табл. 3.

Таблица 3

Увеличение дальнобойности советской артиллерии после модернизации (1930 г.)

Наименование орудий	76-*мм* пушка образца 1902/30 г.	107-*мм* пушка образца 1910/30 г.	122-*мм* гаубица образца 1910/30 г.	152-*мм* гаубица образца 1909/30 г.	152-*мм* пушка образца 1910/30 г.
Дальнобойность после модернизации	13 290 *м*	16 350 *м*	8 940 *м*	10 000 *м*	17 150 *м*
Дальнобойность до модернизации	8 500 *м*	12 700 *м*	7 700 *м*	7 700 *м*	12 400 *м*

Одновременно с модернизацией орудий в Советском Союзе проводилась большая работа по конструированию новых образцов артиллерийского вооружения. К числу таких образцов можно отнести 76-*мм* полковую пушку обр. 1927 г.

Благодаря постоянной заботе Коммунистической партии о создании мощной советской артиллерии на артиллерийских заводах выросли многочисленные высококвалифицированные кадры конструкторов артиллерийских орудий (Грабин, Петров, Иванов и др.). В последующие годы они создали прекрасные образцы отечественных орудий, превосходящие по своим боевым свойствам артиллерийские орудия армий капиталистических государств.

2. Советская артиллерийская техника перед Великой Отечественной войной

Угроза военного нападения на Советский Союз особенно возросла с установлением фашистского режима в Германии в 1933 г. Мировой империализм открыто готовился к войне

против СССР. Советский Союз, боровшийся за сохранение мира, должен был усиливать свою обороноспособность, чтобы быть готовым отбить нападение любого агрессора.

Роли артиллерии в деле защиты СССР уделялось весьма большое внимание. Об этом свидетельствуют следующие данные, характеризующие рост артиллерии только за пять лет — с 1934 г. по 1939 г.: число орудий легкой артиллерии (без противотанковой) увеличилось на 34%, средней — на 26%,

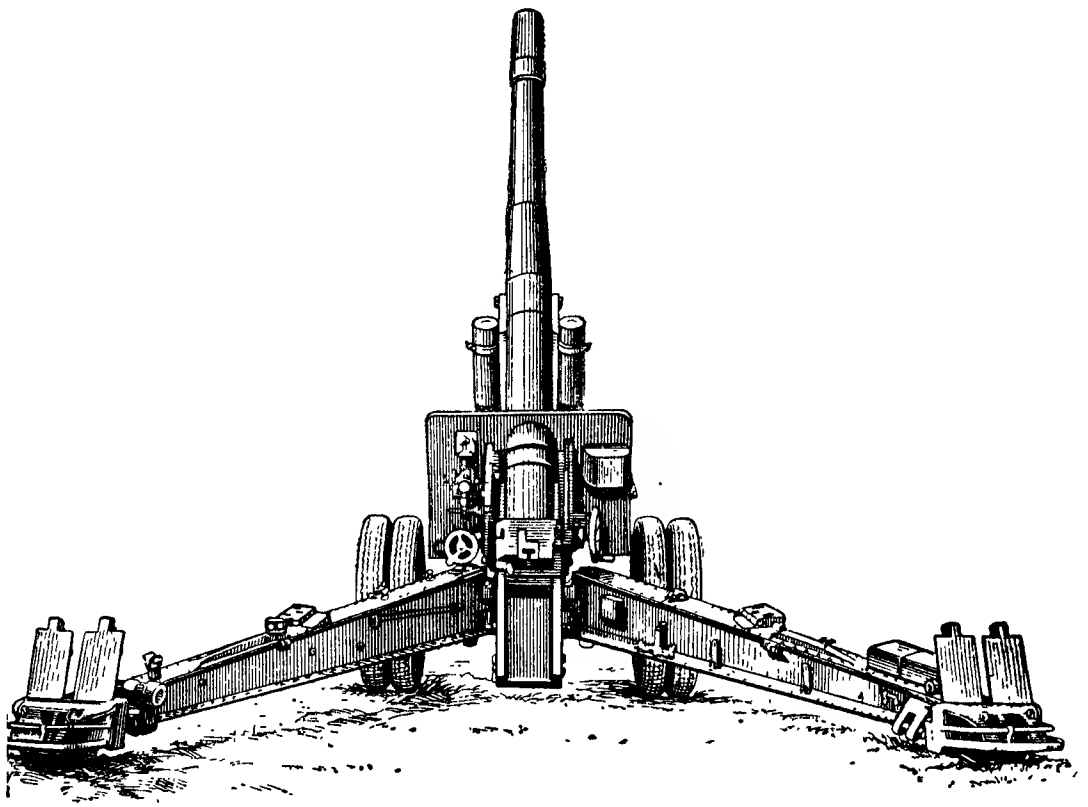


Рис. 9. 152-*мм* гаубица-пушка обр. 1937 г.

тяжелой — на 85%, зенитной — на 169%. Особенно увеличилось число орудий противотанковой и танковой артиллерии. Резко изменилось соотношение между пушечной и гаубичной артиллерией — число гаубиц возросло на 80%.

Дальнобойность орудий всех видов возросла на 50—75%.

Увеличилась также скорострельность орудий, особенно танковых и противотанковых пушек (более чем вдвое). Увеличилась досягаемость огня зенитной артиллерии по высоте на 60%. Были созданы новые снаряды с повышенными боевыми свойствами.

Наилучшим доказательством совершенства советской артиллерии является факт сохранения на вооружении Советской Армии довоенных образцов орудий в течение всего периода войны (как пример см. рис. 9).

Новые орудия и боеприпасы, созданные в ходе Великой Отечественной войны, не заменяли довоенные образцы, а дополняли их.

По своим боевым качествам советская артиллерия намного превосходила немецкую.

Боевая подготовка нашей артиллерии, как и всей Советской Армии, стояла неизмеримо выше немецкой.

Гитлеровская армия, готовясь к «молниеносной войне», делала главную ставку на массовые механизированные армии, вооруженные десятками тысяч танков, и на многочисленный воздушный флот. Соответственно этой доктрине в гитлеровской армии имела место недооценка роли артиллерии в современной войне.

§ 7. СОВЕТСКАЯ АРТИЛЛЕРИЯ В ВЕЛИКОЙ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ВОЙНЕ (1941—1945 гг.)

За время второй мировой войны наиболее усиленно развивалась противотанковая, самоходная, танковая, зенитная, авиационная и реактивная артиллерия, что было вызвано массовым применением танков и авиации.

Большое внимание было обращено на увеличение могущества отдельного выстрела. В этом отношении развитие артиллерийской техники шло по пути увеличения начальной скорости, увеличения калибра и создания новых типов снарядов.

Наша промышленность, несмотря на значительные разрушения, причиненные войной, смогла обеспечить Советскую Армию первоклассным артиллерийским вооружением в необходимом количестве.

На всех фронтах Великой Отечественной войны советская артиллерия имела превосходство над артиллерией противника.

В заключительном сражении за Берлин в апреле 1945 г. со стороны Советской Армии участвовало 41 000 артиллерийских орудий и минометов.

Своим сокрушающим огнём артиллерия успешно расчищала путь пехоте и танкам в величайших сражениях Отечественной войны, в результате чего враг оказался изгнанным из пределов нашей Родины...

Всем известно, что советская артиллерия добилась полного господства на поле боя над артиллерией врага, что в многочисленных боях с врагом советские артиллеристы и минометчики покрыли себя неувядаемой славой исключительного мужества и героизма, а командиры и начальники показали высокое искусство управления огнём.

Советские артиллеристы непрерывно совершенствуют свое мастерство и повышают свои военные знания. Совместно с другими родами войск они всегда готовы отразить попытки любого врага, который попытается помешать движению советского народа к коммунизму.

ГЛАВА II

ТАКТИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К МАТЕРИАЛЬНОЙ ЧАСТИ АРТИЛЛЕРИИ

§ 1. ВВЕДЕНИЕ

Перечень всех свойств, которыми должна обладать материальная часть артиллерии, составляет так называемые тактико-технические требования, предъявляемые к материальной части артиллерии.

В этих требованиях отражаются: боевой опыт и прежде всего опыт Великой Отечественной войны, состояние военной науки и техники, экономика страны и характер современных войн. Все тактико-технические требования делятся на три группы или вида: боевые, служебные и производственно-экономические.

Содержание указанных требований непрерывно меняется в соответствии с общим развитием производительных сил страны, способов ведения войны, военной науки и техники.

Основные тактико-технические требования необходимо знать всем офицерам Советской Армии. Это обеспечивает более глубокое изучение артиллерийской техники и умелое ее боевое применение. Кроме того, знание тактико-технических требований позволяет создать лучшие условия для эксплуатации, сбережения и усовершенствования материальной части артиллерии.

Ниже приводится краткая характеристика тактико-технических требований с приближенными числовыми данными.

§ 2. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ КО ВСЕМ ВИДАМ АРТИЛЛЕРИИ

А. Боевые требования

Боевые требования являются главными, ведущими. Им подчиняются все остальные требования. Боевые требования всесторонне охватывают боевые качества орудия.

Основными боевыми требованиями являются:

1. Могущество боевого действия, включающее в себя следующие элементы:

— могущество действия снаряда по цели;
— дальнобойность;
— высокобойность, т. е. досягаемость огня по высоте;
— кучность боя;
— меткость стрельбы;
— скорострельность.

2. Маневренность, элементами которой являются:

— подвижность — оперативная и тактическая;
— огневая маневренность, или гибкость огня (траекторий).

3. Живучесть.

Рассмотрим основные боевые требования по элементам.

Могущество действия снаряда по цели. Для поражения разнообразных целей необходимо иметь снаряды различных типов. Могущество действия каждого типа снаряда измеряется величинами, характеризующими это действие. Например, для бронебойного действия нужна большая сила удара; для разрушения мощных дерево-земляных сооружений необходимо большое фугасное действие, а для разрушения долговременных железобетонных сооружений необходимо сочетание сильного удара снаряда и действия большого разрывного заряда. Эффективность зажигательного, дымового и осветительного действия зависит от подбора соответствующих веществ, применяемых для снаряжения снарядов, и от емкости снарядов.

Величина осколочного действия характеризуется числом убойных осколков, размерами и формой поражаемого пространства.

Исходя из необходимого могущества действия снарядов по цели, устанавливают типы орудий, калибры их, типы снарядов и начальные скорости снарядов.

Каждое орудие в зависимости от его назначения, типа и калибра имеет снаряды различных типов. Например, для стрельбы из противотанковой пушки применяют бронебойные и осколочные снаряды.

Дальнобойность. Под дальнобойностью понимают способность орудия стрелять на возможно большие дальности. Мерой дальнобойности служит наибольшая горизонтальная дальность стрельбы из данного орудия.

Дальнобойность обеспечивает маневр траекториями без смены огневых позиций, что весьма важно для массирования огня и внезапности поражения противника.

Большая дальнобойность позволяет вести стрельбу при расположении орудий вне досягаемости огня артиллерии противника.

Для каждого вида артиллерии требование дальнобойности конкретизируется в зависимости от задач, возлагаемых на артиллерию данного вида.

Одним из основных способов повышения дальнобойности является увеличение начальной скорости.

В значительной степени на дальнобойность влияет конструкция снаряда — его форма, вес и распределение массы.

Дальность полета снаряда зависит от угла возвышения. Для получения наибольшей горизонтальной дальности угол возвышения должен быть около 45°. Поэтому условием для получения наибольшей дальности полета снаряда является возможность стрельбы при угле возвышения 45° (угол наибольшей дальности).

При стрельбе на очень большие расстояния (при «сверхдальней стрельбе») угол возвышения должен быть равен примерно 55°, чтобы снаряд быстро пробил нижний плотный слой атмосферы и вылетел в стратосферу под углом 45°.

У некоторых орудий (противотанковых, танковых, авиационных и зенитных) дальнобойность не используется в полной мере. У этих орудий для решения основной задачи (например, пробивание брони, поражение движущихся целей настильным огнем и т. д.) нужна очень большая начальная скорость, которая одновременно обеспечивает и большую дальнобойность. Поэтому для ряда орудий необходимо различать прицельную, табличную и наибольшую дальнобойность.

Высокобойность (досягаемость зенитного огня по высоте). Это требование является важнейшим для зенитной артиллерии. Необходимо различать прицельную высокобойность и наибольшую высокобойность. Мерой наибольшей высокобойности является высота траектории снаряда при наибольшем угле возвышения. Прицельная высокобойность обычно определяется приемлемой вероятностью поражения цели; как правило, она колеблется в пределах от половины (для зенитной артиллерии малого калибра) до трех четвертей (для зенитной артиллерии среднего калибра) наибольшей высокобойности.

Кучность боя. Это есть свойство орудия, обеспечивающее возможность группировать точки падения снарядов на малой площади. Кучность боя данного орудия выражается отношением вероятного отклонения по дальности ($Вд$) к дальности X. Отношение $\frac{Вд}{X}$ для неизношенных орудий должно быть в пределах $\frac{1}{200} - \frac{1}{400}$, чем меньше это отношение, тем больше кучность боя орудия [1].

Для зенитной артиллерии малого калибра и для всей противотанковой артиллерии кучность боя определяют в верти-

---

[1] При определении кучности боя вероятное отклонение по дальности ($Вд$) находят стрельбой, при этом дальность стрельбы берут примерно равной $^3/_4$ наибольшей дальности для данного орудия.

кальной плоскости стрельбой по вертикальным щитам. При этом, чем меньше отношение $\frac{B_в}{X}$, тем больше кучность боя.

Кучность боя есть важнейшее боевое качество орудия. При большой кучности боя для поражения цели небольших размеров требуется меньший расход боеприпасов.

При определении кучности боя стремятся избежать влияния работы расчета и качества прицельных устройств.

Кучность боя зависит от совместного влияния многочисленных факторов. Все факторы, способствующие увеличению рассеивания, понижают кучность. Такими факторами являются отклонения от нормы в размерах и весе снаряда, в весе заряда, в величине и форме пороховых зерен, в качестве пороха. Большое влияние на кучность боя оказывает состояние канала ствола и всего орудия, особенно его устойчивость при выстреле. На кучность боя влияет также неоднообразие наводки при каждом выстреле и состояние прицельных устройств.

Мерами улучшения кучности являются: точность изготовления и тщательность приемки элементов выстрела; соблюдение правил хранения боеприпасов и подготовки их к стрельбе; однообразие заряжания и наводки орудия; уход за орудием и в первую очередь за каналом ствола, за противооткатными устройствами и механизмами наводки; тщательная выверка прицельных устройств.

Меткость стрельбы. Это качество выражается в искусстве стреляющего совмещать центр рассеивания разрывов с желаемой точкой на местности. Меткость зависит от качества прицельных устройств и главным образом от умения стреляющего вести стрельбу и использовать приборы для стрельбы и наблюдения.

Меткость, так же как и кучность, является решающим качеством при стрельбе по подвижным целям и целям малых размеров. Это относится в первую очередь к стрельбе прямой наводкой противотанковой, зенитной, корабельной и береговой артиллерии, а также орудий самоходно-артиллерийских установок и танков.

Скорострельность. Это качество орудия определяется наибольшим количеством выстрелов, которое можно произвести в одну минуту из вполне исправного орудия без изменения наводки.

Различают практическую скорострельность, т. е. скорострельность с учетом времени на перезаряжание вручную и исправление наводки, и темп огня, т. е. скорострельность автоматических систем без учета времени на перезаряжание вручную при условии непрерывности стрельбы в течение минуты. Темп определяется как частное от деления числа выстрелов, производимых в одну очередь, на соответствующее время в минутах.

Скорострельность позволяет решать боевые задачи, используя меньшее количество орудий, и обеспечивает высокую эффективность поражения, внезапность нападения и массирование огня.

Наибольшей скорострельностью должна отличаться зенитная, противотанковая, танковая, самоходная, авиационная, морская артиллерия.

Основной путь повышения скорострельности — автоматизация орудий. Устройство автоматических орудий должно позволять доводить практическую скорострельность до темпа огня (эта задача решена в наших 25-*мм* и 37-*мм* автоматических зенитных пушках). Скорострельность не является самоцелью и не всегда должна доводиться до предела, так как это может привести к быстрому выходу орудия из строя и к излишнему расходу боеприпасов.

Подвижность (оперативная и тактическая). Подвижность определяется средней скоростью передвижения и способностью перемещения по различным дорогам и по бездорожью, а также временем перехода из походного положения в боевое и обратно.

При проведении современных операций требуется массовое и быстрое сосредоточение артиллерии на определенных участках фронта. В этих условиях нужна оперативная подвижность, т. е. возможность передвижения на большие расстояния.

Вся масса артиллерийской техники должна быстро перебрасываться как с помощью штатной тяги, так и с помощью дополнительных транспортных средств, каковыми являются автомобили, железнодорожный транспорт, водный и воздушный транспорт и т. д.

Тактическая подвижность орудий на поле боя зависит от наличия механизмов подрессоривания, от способа перевода орудия из боевого положения в походное, от вида тяги и веса системы в боевом и походном положении. Подвижность определяется способностью орудия проходить по дорогам и бездорожью, поворотливостью и устойчивостью на походе. Важно обеспечить не просто подвижность, а подвижность с определенной скоростью. Артиллерия должна быть приспособлена к перевозке со скоростями передвижения тех войск, с которыми ей приходится совместно действовать.

Для батальонной, полковой, противотанковой и даже дивизионной артиллерии очень важно обеспечить возможность перемещения орудий на поле боя силами самого орудийного расчета.

Огневая маневренность (или гибкость огня). Это есть способность орудия вести огонь в различных направлениях и на различные дальности, а также способность быстро переносить огонь с одной цели на другую и иметь различные углы паде-

ния на одних и тех же дальностях стрельбы (при стрельбе с одной и той же огневой позиции).

Различают горизонтальную и вертикальную огневую маневренность.

Горизонтальная огневая маневренность зависит от конструкции орудия. Она определяется сектором горизонтального обстрела орудия без изменения положения станин и скоростью горизонтальной наводки, допускаемой поворотным механизмом.

Наибольшая горизонтальная огневая маневренность требуется для зенитной и танковой артиллерии. Она обеспечивается применением кругового обстрела в горизонтальной плоскости и использованием силовых приводов наводки.

Вертикальная огневая маневренность определяется сектором обстрела в вертикальной плоскости и скоростью вертикальной наводки, допускаемой подъемным механизмом. Увеличению этой маневренности способствует применение различных зарядов и снарядов, входящих в боевой комплект данного орудия.

Большая вертикальная маневренность позволяет вести стрельбу при различных углах падения. Это необходимо для наилучшего поражения различных целей — вертикальных и горизонтальных, открытых и находящихся за укрытиями, расположенных выше или ниже орудия.

Сектор вертикального обстрела, количество зарядов и типов снарядов в боевом комплекте зависят от типа орудия и его назначения. Наибольший сектор вертикального обстрела необходим для зенитной артиллерии. Наибольшее число зарядов требуется для гаубиц и гаубиц-пушек. Следует особо отметить, что орудия некоторых типов не могут вести стрельбу при малых углах возвышения (имеют ограниченный вертикальный сектор обстрела), что связано с особенностью их конструкций. Например, наименьший угол возвышения у минометов 45°, что связано с требованиями устойчивости при выстреле и удобства заряжания.

Во многих случаях умелое использование маневра траекториями дает больший эффект, чем маневр колесами. Огневая маневренность и дальнобойность позволяют внезапно для противника обрушить мощный массированный огонь на любой его объект.

Живучесть. Живучестью называется свойство орудия сохранять возможно более продолжительное время свои боевые качества при всех условиях эксплуатации в мирное и военное время. Живучесть измеряется количеством выстрелов, которое орудие может произвести до выхода из строя. Решающим показателем состояния орудия является состояние его ствола. Живучесть ходовых частей орудия измеряется числом километров пробега до выхода этих частей из строя. Орудие в це-

лом, как правило, может выйти из строя только в результате прямого попадания в него крупного снаряда или авиабомбы противника. Основные части орудия (ствол, противооткатные устройства, прицел, станок, ходовые части) могут выйти из строя, кроме того, в результате естественного износа деталей или в результате неточного соблюдения правил эксплуатации.

Высокая живучесть материальной части обеспечивается:

1) прочностью всех деталей орудия во время стрельбы и на походе;

2) неуязвимостью в бою;

3) приспособленностью материальной части к боевой обстановке при передвижении, расположении и действии на огневой позиции (быстрота маневра, легкость маскировки, быстрая смена огневых позиций, обеспеченность приборами управления, наблюдения и связи, большая дальнобойность и скорострельность);

4) отличными условиями эксплуатации, исключающими возможность нарушения правил, установленных руководствами службы.

Прочность всех деталей орудия в свою очередь обеспечивается правильным расчетом при проектировании, высоким качеством материалов и правильной технологией производства. Прочность характеризуется отсутствием остаточных деформаций во время служебных нагрузок при стрельбе и на походе. Необходимо отметить, что орудие любой прочности можно вывести из строя, если неумело или небрежно с ним обращаться. Например, нечищенный и неосмотренный ствол, имеющий высокую расчетную прочность, при стрельбе может разорваться. Расчетная прочность гарантирует отсутствие поломок лишь при правильном обращении с орудием во всех боевых условиях с учетом возможных изменений температуры и допустимых отклонений в размерах, весах и качестве всех деталей орудия, снарядов и зарядов.

Следует также учесть, что детали орудия могут быть разрушены при грубом нарушении правил перевозки (перевозка с большими скоростями по бездорожью, перевозка на железнодорожных платформах без закрепления и т. д.).

Неуязвимость орудий в бою обеспечивается:

а) высокими боевыми качествами материальной части, позволяющими своевременно открывать огонь и быстро поражать противника;

б) постановкой бронещитов для непосредственной защиты материальной части и орудийного расчета от огня противника; на орудия ставят основные щиты и, кроме того, дополнительные для бронирования отдельных частей орудия (уравновешивающего механизма, цилиндров противотанковых устройств и т. д.);

в) компактным размещением механизмов орудия за щитовым укрытием;

г) созданием орудия небольших габаритов.

Правильный выбор и тщательное оборудование огневых позиций также являются важными факторами, обеспечивающими неуязвимость орудий в бою.

Приспособленность материальной части к боевой обстановке зависит от правильного учета боевого опыта при конструировании орудий и от умелого использования материальной части в конкретных боевых условиях.

Конструкция орудия должна обеспечивать:

а) удобство и быстроту маневра на любой местности и в любое время года и суток;

б) скрытность перемещения орудия на поле боя, скрытность размещения материальной части и номеров на огневой позиции и действий при орудии (с принятием мер маскировки);

в) способность орудия выдерживать продолжительную стрельбу без какой-либо разборки и смены деталей, а также без добавления жидкости в противооткатные устройства и убавления ее;

г) приспособленность механизмов к быстрой проверке, разборке и сборке;

д) возможность замены сравнительно быстро изнашивающихся деталей запасными деталями.

Правильная эксплуатация материальной части артиллерии является важнейшим фактором, от которого зависит живучесть артиллерии.

Для того чтобы правильно эксплуатировать орудие, необходимо отлично знать его устройство, знать, как оно действует и какие могут быть причины неисправностей в работе механизмов. Кроме того, надо уметь обслуживать материальную часть, систематически проверять работу всех механизмов в бою, содержать все механизмы в чистоте, точно устанавливать, в чем заключаются неисправности механизмов, и своевременно и быстро их устранять.

Для создания благоприятных условий эксплуатации материальной части артиллерии имеются:

а) специалисты — мастера, техники, инженеры;

б) руководства службы;

в) комплекты инструментов, запасных частей и принадлежности для разборки, сборки, смазки, чистки и окраски;

г) специальные мастерские для ремонта, проверки сложных механизмов и приведения всех механизмов в исправное состояние с заменой неисправных частей.

При нарушении правил эксплуатации возможен выход орудия из строя (авария), например:

1. Если произвести первый выстрел при полном заряде во время сильного мороза, когда возможно некоторое загустевание жидкости, то может произойти отрыв штоков вследствие резкого увеличения сопротивления жидкости в тормозе отката

(в этих условиях первый выстрел надо давать при уменьшенном заряде).

2. Если произвести выстрел из 203-*мм* гаубицы при наибольшем угле возвышения без отрыва ровика для перемещения откатных частей, то произойдет резкий удар о грунт казенной части орудия с повреждением деталей.

3. При езде с большими скоростями с выключенным подрессориванием произойдет порча деталей лафета.

4. Если затворы оставить с густой смазкой, то это послужит причиной осечек.

5. Если цилиндр тормоза будет пробит осколком снаряда, то при отсутствии непрерывного наблюдения за орудием в бою может остаться незамеченной большая утечка жидкости из тормоза отката. В этом случае при выстреле может произойти отрыв штоков и порча других деталей.

6. При недосылке снаряда в орудии с раздельным заряжанием в момент выстрела возможен разрыв ствола.

Во время Великой Отечественной войны обнаружилась исключительно высокая живучесть нашей артиллерии. У нас не было случаев выхода орудий из строя по причине недостаточной их прочности. Многие орудия прошли с боями тысячи километров и продолжают свою службу до настоящего времени. Некоторые из них переданы в музеи. Например, в Артиллерийском историческом музее среди образцов орудий, участвовавших в Великой Отечественной войне, имеется 76-*мм* пушка обр. 1942 г. № 4758, которая прошла 6204 *км* боевого пути и выпустила по врагу 3969 снарядов, или орудие № 6513, которое прошло с боями 8983 *км* и выпустило по врагу 8943 снаряда.

Б. Служебные требования

К артиллерийскому орудию предъявляются следующие наиболее важные служебные требования:

1. Безотказность действия механизмов в любых условиях (жара, холод, дождь, снег, пыль, резкие изменения температуры, продолжительная стрельба, сильные толчки и т. д.).

Безотказность действия механизмов обеспечивается тем, что на вооружение принимаются всесторонне проверенные теоретическими и экспериментальными исследованиями конструкции, при этом используются лучшие механизмы, испытанные во время Великой Отечественной войны, с учетом качества материалов и технологии производства. Весьма целесообразно широко использовать для этой же цели все новейшие достижения общего машиностроения как в области проектирования, так и в области производства и проверки качества изделий и работы механизмов с применением стандартных деталей, моторов, двигателей, марок сталей и т. п.

Для достижения безотказности действия механизмов не следует останавливаться перед тяжелыми, продолжительными испытаниями образцов в различных условиях их работы в бою. Часто простейшие приспособления могут способствовать обеспечению безотказности действия механизмов. Например, применение защитных кожухов, закрывающих механизмы от влаги, пыли, песка, грязи, исключительно важно для поддержания безотказности действия. Выбор наилучших сортов смазки, своевременная смена сезонных смазок, наблюдение за сохранением смазки — все это также имеет большое значение для поддержания безотказности действия механизмов.

Принцип безотказности действия обязателен для каждого механизма в отдельности и для всего орудия в целом. Желательно иметь такие конструкции, для разборки и сборки которых почти не требуется специальных ключей и сложных приспособлений. Необходимо иметь запас деталей, срок живучести которых сравнительно мал. Состав и количество жидкости в противооткатных устройствах должны обеспечить хорошую работу этих устройств в условиях любого, допустимого правилами стрельбы, режима огня, в любое время года, суток и в любом месте. Наличие механизмов, не допускающих неправильные действия (механизмы взаимной замкнутости и т. п.), способствует сохранению материальной части и обеспечивает безотказность ее действия (при правильном обращении). Приспособленность орудия к ремонту (наличие запасных частей, приспособлений и инструмента, несложность разборки и сборки) и своевременность предупредительного ремонта также значительно увеличивают срок безотказной работы орудия.

2. Безопасность при обслуживании в любых боевых условиях (гарантированная прочность всех деталей, наличие предохранительных механизмов, приспособлений и т. п.).

3. Простота и удобство обслуживания во всех случаях эксплуатации. Эти качества позволяют быстро обучать людей, обеспечивать взаимозаменяемость людей в бою, способствуют наилучшему использованию техники и увеличению живучести артиллерии.

Весьма целесообразно применять для ряда орудий однотипные механизмы, например, единый тип клинового затвора, автоматики, противооткатных устройств, прицелов и т. д. Рукоятки и приводы механизмов должны быть так сконструированы, чтобы движения рук людей при обслуживании механизмов были простейшими — прямолинейными или круговыми. Желательно применять указатели и надписи на орудии, предостерегающие от ошибок.

4. Наименьшая утомляемость при обслуживании. Конструкция орудия и его тяги должна обеспе-

чивать наименьшие усилия, которые орудийный расчет и все лица, обслуживающие материальную часть артиллерии, обязаны прикладывать во время стрельбы, при переводе орудия в боевое и походное положения, во время чистки, разборки, сборки и смазки материальной части, при смене огневой позиции и при передвижении.

Утомляемость человека зависит от его положения во время работы, от того, как перемещаются руки и корпус и какие прилагаются усилия. В связи с этим различные механизмы орудия размещены (на основании специальных исследований) с таким расчетом, чтобы создавались наилучшие условия для работы при орудии. Исключительную роль в деле уменьшения утомляемости имеет поддержание всей техники в полной сохранности, чистоте и боевой готовности.

5. Устойчивость орудия при стрельбе. При устойчивом положении орудия не сбивается наводка, увеличивается скорострельность и кучность боя, создаются условия для удобной работы и исключается возможность несчастных случаев. Чтобы орудие было устойчивым при стрельбе, оно должно надежно соприкасаться с грунтом в трех или четырех точках, что обеспечивается наличием нескольких станин, шарнирного соединения станин со станком, домкратных опор, забивных сошников и т. д. Большое значение в этом отношении имеет также правильное распределение массы металла и размещение основных механизмов орудия. Это учитывается при конструировании орудия.

На устойчивость орудия при стрельбе значительно влияет степень оборудования огневой позиции: орудийные площадки должны быть горизонтальными, с упорами для сошников (сошниковых листов).

При неподготовленных к стрельбе противооткатных устройствах, при грязных направляющих люльки, при отсутствии смазки на направляющих, а также при наличии заусениц и деформаций на трущихся во время отката поверхностях резко возрастает сопротивление откату, что приводит к нарушению устойчивости при выстреле. Итак, устойчивость орудия в основном определяется качеством обслуживания (при хорошем проектировании и производстве).

Некоторые полевые орудия, имеющие небольшой вес, обладают недостаточной устойчивостью при малых углах возвышения ($\varphi \approx 0°$). Однако при небольшом весе орудие приобретает бо́льшую маневренность на поле боя.

В. Производственно-экономические требования

Производственно-экономические требования имеют целью обеспечить возможность массового и быстрого производства материальной части артиллерии без лишних затрат матери-

альных средств и труда, при полной независимости от импорта и с максимальным использованием общего машиностроения.

Главными производственно-экономическими требованиями являются:

1. Независимость от импортного сырья.

2. Простота конструкции и технологии, позволяющая быстро освоить массовое производство.

3. Взаимозаменяемость и стандартизация деталей, обеспечивающие массовость производства, простоту ремонта, сборки и разборки.

4. Внедрение наиболее современных методов технологии, дающих наибольший производственный эффект и экономию материала, рабочей силы и времени.

5. Применение заменителей дорогостоящих и дефицитных материалов.

6. Использование освоенных в производстве деталей, механизмов, агрегатов. Унификация лафетов, прицелов.

Благодаря передовому уровню нашего народного хозяйства, плановости его развития и смелому внедрению новых методов технологии наша промышленность, несмотря на трудности, создавшиеся в первый период Великой Отечественной войны, не только не уменьшила выпуск вооружения во время войны, а, наоборот, непрерывно увеличивала его. Достаточно указать, что при переходе к стволам-моноблокам ускорилось и упростилось производство стволов в несколько раз. Сварка, штамповка, фасонное литье дали огромнейшую экономию металла, времени и квалифицированной рабочей силы. Широкое применение нашли штампосварные конструкции, при изготовлении которых резко сократились затраты металла и времени.

§ 3. СПЕЦИАЛЬНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К НЕКОТОРЫМ ВИДАМ АРТИЛЛЕРИИ

(числовые данные приведены ориентировочно)

Специальные требования, предъявляемые к противотанковой артиллерии:

1. Пробивание брони современных тяжелых танков на расстоянии не менее дальности прямого выстрела при угле встречи до 45°.

2. Большая кучность и меткость стрельбы на всех боевых дальностях.

3. Несбиваемость наводки при стрельбе. Полная устойчивость орудия во время стрельбы при всех углах возвышения.

4. Большая скорострельность (15—30 выстрелов в минуту).

5. Большой угол горизонтального обстрела (не менее 60°, желательно 360°).

6. Быстрота выполнения горизонтальной и вертикальной наводки (желательно иметь устройства выключения механизмов для ускорения наводки).

7. Наличие двух прицелов:

а) телескопического для прямой наводки при стрельбе по танкам;

б) панорамного для непрямой наводки.

8. Надежность щитового прикрытия орудия и расчета.

9. Полная безотказность действия всех механизмов и их живучесть в бою.

10. Простота всех операций (перевод в боевое положение, наводка, заряжание и производство выстрела) при небольших усилиях со стороны расчета. Возможность ведения стрельбы одним человеком.

11. Быстрота перехода в боевое и походное положения (несколько секунд).

12. Большая подвижность (до 60 *км/час*).

Специальные требования, предъявляемые к зенитной артиллерии:

1. Большая высокобойность и дальнобойность.

2. Большая начальная скорость для уменьшения полетного времени снаряда.

3. Большой вертикальный обстрел (наибольший угол возвышения не менее 85°, наименьший — 5—10°).

4. Круговой горизонтальный обстрел.

5. Большая скорострельность. Полная автоматизация перезаряжания для пушек малых калибров.

6. Автоматизация большинства операций наводки в цель.

7. Быстрота выполнения вертикальной и горизонтальной наводки с приложением небольших усилий при работе на маховиках. Наличие двух скоростей наводки (грубая и точная наводка). Введение силовых приводов к подъемному и поворотному механизмам.

8. Большая кучность и меткость стрельбы.

9. Приспособленность к стрельбе по танкам и другим наземным целям. Приспособленность к самообороне.

10. Безотказность работы всех механизмов при любом угле возвышения.

11. Простота обращения с механизмами (при допущении сложности их устройства).

12. Наличие щитового прикрытия.

13. Быстрота перехода в боевое и походное положения.

Специальные требования, предъявляемые к горной артиллерии:

1. Вес полезного груза на один вьюк — не больше 100 *кг*. Габариты вьюка должны быть удобны для вьючки.

2. Число вьюков на одно орудие — не больше десяти (кроме вьюков с боеприпасами).

3. Приспособленность к движению на колесах по горным дорогам.

4. Легкость и простота операций по переходу на вьюки и обратно на колеса без применения особых приспособлений и инструментов.

5. Возможно малое время перехода на вьюки и обратно (5—10 минут).

6. Наличие механизмов взаимной замкнутости, исключающих возможность стрельбы при неправильной сборке орудия.

7. Большой вертикальный обстрел и большой угол снижения.

8. Нечувствительность работающих механизмов к резкому изменению окружающей температуры.

Специальные требования, предъявляемые к самоходной артиллерии:

1. Подвижность и проходимость самоходно-артиллерийских установок (САУ) не меньше, чем танков.

2. Огневая мощь САУ больше, чем у танков такого же веса.

3. Надежное противоснарядное бронирование, защищающее САУ от огня основных противотанковых пушек противника.

4. Большая быстрота перехода в боевое и походное положения (несколько секунд) и постоянная готовность к бою.

5. Приспособленность для стрельбы прямой и непрямой наводкой (два прицела).

6. Достаточный горизонтальный и вертикальный обстрел без изменения положения САУ (угол горизонтального обстрела 40°, угол возвышения наибольший +20° и наименьший —5°; это наименее допустимые углы обстрела).

7. Круговой обзор без полей невидимости из башни САУ.

8. Несбиваемость наводки при выстреле с места.

9. Скорострельность больше, чем у танков, имеющих подобные орудия.

10. Надежность крепления по-походному орудия и боеприпасов.

11. Возможность удобного размещения боекомплекта.

12. Наличие стрелкового вооружения и зенитных средств для самообороны самоходной установки.

13. Наличие необходимого ЗИП в каждой САУ.

14. Наличие современных средств связи в каждой САУ.

15. Приспособленность для проверки орудия и малого ремонта без разборки бронирования и без выхода людей из САУ.

16. Наличие надежной вентиляции боевого отделения; наличие огнетушителей.

Специальные требования, предъявляемые к артиллерии танков:

1. Достаточное огневое могущество для борьбы с танками и самоходно-артиллерийскими установками противника, со

всеми огневыми средствами пехоты и с артиллерией противника.

2. Полная безотказность в боевой обстановке в любое время года.

3. Максимальная автоматизация всех операций по перезаряжанию и большая скорострельность.

4. Минимальное время запаздывания выстрела (наличие электромагнитного спуска и электрозапального воспламенения).

5. Малые усилия при работе на маховиках механизмов наводки при большой скорости наводки. Простота выполнения прямой наводки по подвижным целям и наличие тормозных устройств в механизмах наведения.

6. Независимость действия орудия при выстреле от положения танка относительно горизонта.

7. Круговой обстрел и обзор без полей невидимости.

8. Большая кучность и меткость стрельбы с места, с хода и с коротких остановок.

9. Наличие запасных прицельных приспособлений.

10. Легкость ремонта, замены механизмов и смены качающейся части орудия.

11. Удобство работы экипажа на походе и во время стрельбы.

12. Надежная вентиляция орудийной башни во время стрельбы.

13. Наличие гильзоулавливателя, гильзоотражателя и блокировочных механизмов.

14. Малая длина отката с целью увеличения полезного объема башни для размещения экипажа и боекомплекта.

15. Высокая маневренность танка на местности, не стесняемая наличием орудийного ствола; возможность действия корпусом танка как тараном.

16. Наличие современных средств связи в каждом танке.

17. Наличие средств самообороны против атакующих мелких групп противника.

18. Наличие средств ПВО против пикирующих самолетов противника.

§ 4. АБСОЛЮТНЫЕ И ОТНОСИТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АРТИЛЛЕРИЙСКИХ ОРУДИЙ

О качестве орудия и его боевой мощи можно судить по величинам абсолютных и относительных характеристик.

Наиболее показательными характеристиками артиллерийских орудий являются: дульная энергия (E_0), коэффициент могущества (C_{E_0}) и коэффициент использования металла ($\eta_{мет}$).

Дульная энергия является главнейшей абсолютной характеристикой орудия. Она показывает полезную работу пороховых газов на сообщение снаряду кинетической энергии. Численно дульная энергия равна живой силе поступательного движения снаряда в момент вылета его из ствола:

$$E_0 = \frac{qv_0^2}{2g} \ (кгм \text{ или } тм).$$

За счет дульной энергии обеспечивается полет снаряда в воздухе и ударное действие его по цели. Дульная энергия выражается в тоннометрах или в килограммометрах.

Пример. Для 76-*мм* пушки $q = 6{,}5$ *кг* и $v_0 = 900$ *м/сек*. Дульная энергия этой пушки равна

$$E_0 = \frac{6{,}5 \cdot 900^2}{2 \cdot 9{,}81} = 268\,000 \ кгм = 268 \ тм.$$

Для характеристики могущества орудия независимо от его калибра служит коэффициент могущества, численно равный отношению дульной энергии, выраженной в тоннометрах, к кубу калибра орудия, выраженному в дециметрах, т. е.

$$C_{E_0} = \frac{E_0}{d^3} \left(\frac{тм}{дм^3}\right).$$

Коэффициент могущества показывает полезную работу на единицу объема канала при подобном устройстве орудий. Поэтому у орудий различных калибров, но подобных и одинаково устроенных и с одинаковыми начальными скоростями, будет общее значение коэффициента могущества. Наименьшее значение C_{E_0} будет у минометов и мортир (примерно от 10 до 100). Наибольшее C_{E_0} у зенитных, противотанковых, морских и сверхдальнобойных орудий (от 500 до 1000 и более).

Пример. Для 76-*мм* пушки $E_0 = 268$ *тм*. Определить ее коэффициент могущества:

$$C_{E_0} = \frac{E_0}{d^3} = \frac{268}{0{,}76^3} = 610 \ \frac{тм}{дм^3}.$$

Для характеристики совершенства конструкции орудия с точки зрения наилучшего использования металла служит коэффициент использования металла, численно равный отношению дульной энергии к весу орудия в боевом положении:

$$\eta_{мет} = \frac{E_0}{Q_б}.$$

Размерность $\eta_{мет}$ $\frac{кгм}{кг}$ или $\frac{тм}{т}$.

Пример. Для 76-*мм* пушки $E_0 = 268$ *тм*, $Q_б = 1500$ *кг* $= 1{,}5$ *т*. Определить $\eta_{мет}$.

$$\eta_{мет} = \frac{E_o}{Q_б} = \frac{268}{1{,}5} = 179 \ \frac{тм}{т}.$$

Коэффициент использования металла растет с ростом коэффициента могущества орудия, калибра орудия и зависит от принципиальной схемы орудия.

Коэффициент $\eta_{мет}$ имеет наибольшее значение для безоткатных орудий типа ДРП и для минометов и наименьшее значение — для автоматических орудий с четырьмя станинами. Для правильного суждения о данном орудии его следует сравнивать с подобными существующими орудиями или с орудиями, близкими по принципиальной схеме, с учетом калибра и могущества. Применение дульного тормоза позволяет значительно увеличивать значение $\eta_{мет}$.

РАЗДЕЛ ВТОРОЙ

ОСНОВАНИЯ УСТРОЙСТВА ОРУДИЙНЫХ СТВОЛОВ, КАЗЕННИКОВ И ЗАТВОРОВ

ГЛАВА I

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ УСТРОЙСТВЕ ОРУДИЙНЫХ СТВОЛОВ, НАПРЯЖЕНИЯХ И ДЕФОРМАЦИЯХ В НИХ

§ 1. НАЗНАЧЕНИЕ СТВОЛА. ТИПЫ СТВОЛОВ

Ствол представляет собой основную часть артиллерийского орудия. Он предназначен для бросания снаряда в определенном направлении и с определенными начальными скоростями поступательного и вращательного движения. Кроме того, он является каморой, где происходит сгорание боевого заряда и где производится работа пороховых газов при их расширении.

На внутренней поверхности орудийных стволов на участке, по которому движется снаряд при выстреле, сделаны нарезы для сообщения снаряду вращательного движения, что необходимо для обеспечения устойчивого положения снаряда на полете.

В отличие от орудийных стволов стволы минометов гладкостенные. Мина, выброшенная из гладкостенного ствола, не имеет вращения вокруг своей оси и сохраняет устойчивость на полете благодаря действию стабилизатора.

Орудийные стволы испытывают при выстреле, как известно из внутренней баллистики, давление пороховых газов в несколько тысяч атмосфер (до 3000 *атм* и более), поэтому они должны обладать достаточной прочностью.

Обеспечение прочности ствола является одной из самых ответственных задач проектирования, производства и эксплуатации орудий, так как при непрочном стволе неизбежны не только порча орудия и несчастные случаи, но и срыв выполнения боевой задачи.

Стволы всех типов скользят при откате и накате по направляющим поверхностям люльки и имеют для связи с люлькой либо захваты, либо цилиндрические наружные участки.

Все стволы тем или иным способом соединены с подвижными деталями противооткатных устройств. На всех стволах имеются площадки для установки контрольного уровня. На дульном и казенном срезах сделаны риски для наклейки нитей (вертикальной и горизонтальной). Перекрестия этих нитей должны быть на оси канала ствола, что необходимо для проверки прицелов.

В зависимости от устройства стенок стволы делятся на следующие типы (независимо от типа казенника):

1. **Ствол-моноблок** (рис. 10). Ствол-моноблок сделан из одной заготовки и по всей длине представляет собой целую трубу. Этот тип стволов до начала второй мировой войны применялся в орудиях малого калибра, в орудиях с малыми давлениями пороховых газов и в минометах.

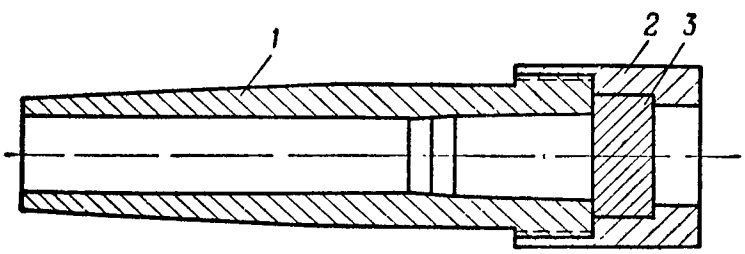


Рис. 10. Ствол-моноблок (схема):
1 — ствол-моноблок; *2* — казенник; *3* — затвор

В настоящее время ствол-моноблок ввиду простоты его изготовления является наиболее распространенной конструкцией ствола в полевой артиллерии всех армий.

Переход к стволам-моноблокам при высоких давлениях газов стал возможен благодаря освоению производства высококачественных сталей. Примерами стволов-моноблоков являются стволы 37-*мм* зенитной пушки, 57-*мм* противотанковой пушки и 76-*мм* пушки обр. 1942 г.

Стволы-моноблоки в течение весьма длительного времени (с XV в. до середины XIX в.) изготовлялись из железа, различных сортов стали, бронзы, чугуна. Со второй половины XIX в. (сначала в России, а затем и за границей) орудийные стволы, как правило, начали делать из специальных сортов стали. Литую болванку в горячем состоянии проковывали до получения размеров, немного превышающих размеры готового ствола. Канал прошивался во время ковки болванки или высверливался в ней после ее охлаждения.

Перед Великой Отечественной войной у нас было хорошо освоено производство стволов-моноблоков методом прокатки труб и методом центробежной отливки. Основным же способом получения стволов-моноблоков в СССР и за границей была ковка.

Стволы кованые, катаные, центробежнолитые доводятся до чистовых размеров на токарных станках (наружная обточка и внутренняя расточка). Нарезка каналов делается на особых станках, а расточка зарядных камор — на токарных станках с особыми копирами и набором специальных конических режущих инструментов.

Первые в мире стальные кованые (с последующим сверлением) орудийные стволы были изготовлены в России на Урале, на Нижне-Исетском заводе в 1812 г. В изготовлении таких стволов наша страна на полвека опередила все другие страны. Изобретателем и технологом производства стальных кованых стволов был мастер Яков Зотин. Образец орудия Якова Зотина имеется в Артиллерийском историческом музее. На этом орудии сделана надпись: «Изобрет. мастер Яков Зотин. Коват, сверлен при Екатер. Ниж. Исет. заводе. Опробована А. Ш. Масоловым 1812 г. 25 окт.». Вес первого стального орудийного ствола был около 240 *кг*.

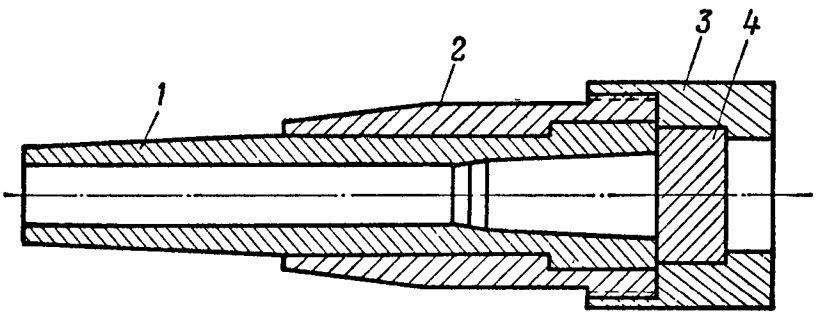


Рис. 11. Скрепленный двухслойный ствол (схема):
1 — труба; *2* — кожух; *3* — казенник; *4* — затвор

2. **Ствол, скрепленный с натяжением** (рис. 11). Этот тип стволов первоначально появился во второй половине XIX в. также в России. Он был основным в конце XIX в. и во время первой мировой войны во всех армиях.

Такой ствол состоит из нескольких концентрических слоев, надеваемых один на другой с натяжением. Для возможности сборки без приложения больших осевых усилий наружный слой перед надеванием его на внутренний нагревается примерно до 400° С.

Первые скрепленные стволы XIX в. представляли собой чугунную трубу с надетыми на нее стальными кольцами.

Скреплением достигается перераспределение напряжений в металле ствола, приводящее к более равномерной нагрузке на металл ствола во время выстрела. Это позволяет изготовить прочный ствол из менее легированной стали и к тому же меньшего веса.

Теорию скрепленных стволов первым в мире разработал в середине XIX в. профессор русской артиллерийской академии А. В. Гадолин.

Производство скрепленных стволов значительно сложнее, чем стволов-моноблоков, так как требуется исключительно большая точность и чистота обработки поверхностей скрепления, а также специальная операция скрепления с нагревом.

Внутренний слой ствола называется трубой или первым слоем. Наружный слой ствола называется кожухом. Промежуточные слои (если они имеются) нумеруются в возрастающем порядке от трубы к кожуху (рис. 12).

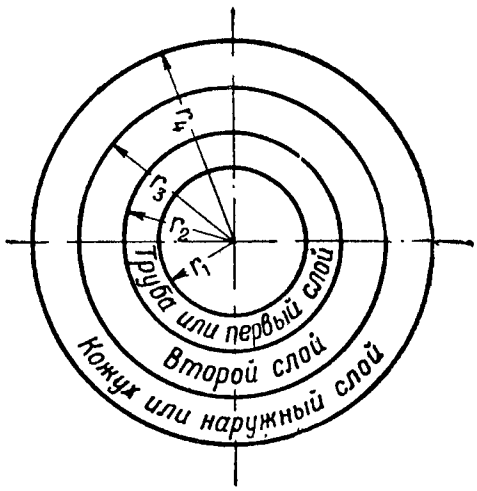


Рис. 12. Поперечное сечение многослойного ствола

В зависимости от числа слоев стволы называются двухслойными, трехслойными, четырехслойными, пятислойными и т. д. Большинство современных скрепленных стволов наземной артиллерии двухслойные. В морской артиллерии имеются пятислойные стволы.

3. Стволы, скрепленные проволокой (рис. 13). Стволы, скрепленные проволокой, впервые появились во второй половине XIX в. в России (конструкция Обуховского завода); в дальнейшем они стали широко применяться в Англии. В Советской Армии скрепление стволов проволокой не применяется.

Ствол, скрепленный проволокой, состоит из трубы, на которую навито несколько десятков рядов стальной проволоки прямоугольного сечения. Проволока навивается в холодном состоянии с натяжением (рис. 14). Оба конца проволоки надежно крепятся к трубе. Поверх проволоки на трубу надевается кожух.

Слои проволоки сжимают внутреннюю трубу и сами находятся в постоянном напряжении. Сборочные напряжения позволяют улучшить сопротивляемость внутренней трубы действию пороховых газов, растягивающих трубу. Металл про-

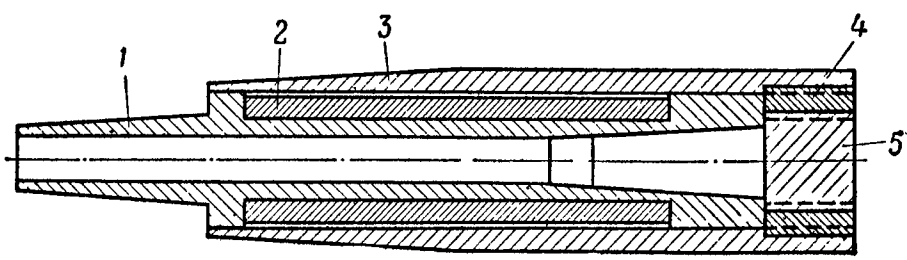


Рис. 13. Ствол, скрепленный проволокой (схема):
1 — труба; *2* — слои проволоки; *3* — оболочка ствола; *4* — ввинтной казенник; *5* — затвор

волоки, применяемой для скрепления стволов, должен быть высокого качества.

Преимущество скрепления стволов проволокой заключается в возможности получения желаемых напряжений в металле без точной механической обработки поверхностей скрепления и без нагрева.

Недостаток скрепления стволов проволокой заключается в том, что слои проволоки из-за наличия воздушных зазоров между ними обладают плохой теплопроводностью. Кроме того, у длинного ствола, скрепленного проволокой, получается большой прогиб (от собственного веса), что приводит к быстрому износу ствола. Сама технология навивки проволоки с переменным натяжением сложна.

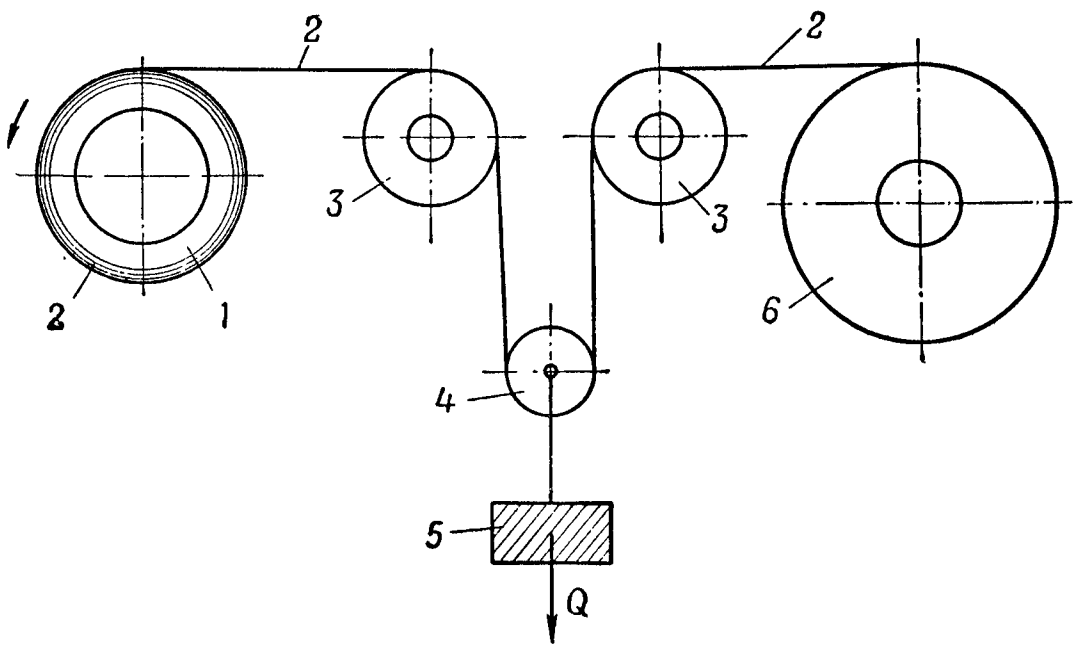


Рис. 14. Схема навивки проволоки на трубу ствола:
1 — труба; *2* — проволока; *3* — неподвижные блоки; *4* — подвижный блок; *5* — груз, создающий натяжение в проволоке; *6* — катушка с проволокой

4. **Самоскрепленные (автофретированные) стволы.** По внешнему виду самоскрепленный ствол-моноблок нельзя отличить от простого ствола-моноблока.

Самоскрепление цилиндра (ствола) заключается в повышении сопротивляемости внутренних слоев металла действию высоких давлений газов за счет возбуждения в металле напряжений, аналогичных напряжениям, которые получаются в стволе, скрепленном с натяжением. Самоскрепление обеспечивается образованием остаточных деформаций растяжения в слоях металла, ближайших к внутренней поверхности ствола. Наличие остаточных деформаций во внутренних слоях является причиной сохранения в наружных слоях цилиндра напряжений растяжения. Внутренние слои под действием наружных

слоев металла, стремящихся вернуться в исходное состояние, будут до выстрела сжаты, как в обычном скрепленном стволе. Количественное распределение напряжений в самоскрепленном моноблоке отличается от распределения напряжений в стволе, состоящем из нескольких слоев металла, скрепленных с натяжением.

Обычно образование остаточных деформаций растяжения во внутренних слоях самоскрепленного ствола производится с помощью высокого гидравлического давления внутри самоскрепляемого цилиндра. Кроме того, самоскрепление может производиться протяжкой через канал ствола специальных пуансонов или же стрельбой с зарядом, дающим повышенное давление, способное вызвать остаточные деформации (без разрыва трубы).

Теорию и технологию самоскрепления стволов впервые разработал в XIX в. профессор русской артиллерийской академии А. С. Лавров. Он же наладил и производство самоскрепленных стволов. Современную теорию самоскрепления стволов разработал профессор Н. Ф. Дроздов.

Технология самоскрепления довольно сложна и требует особой аппаратуры. Напряжения самоскрепления исчезают при нагреве ствола свыше 450—500° С.

Процесс самоскрепления является в то же время и своеобразной проверкой качества металла, так как при этом процессе давление, испытываемое металлом, выше давления газов, на которое рассчитывается ствол. Следует отметить, что в России с давних пор почти все гладкоствольные орудия, заряжавшиеся с дула, подвергались самоскреплению с помощью пороховых газов. С этой целью производилась стрельба специальным усиленным зарядом (пробным зарядом) из ствола, не окончательно расточенного. Хотя первый автор, предложивший способ самоскрепления стволов, еще не известен, но все же бесспорно, что это изобретение — дело талантливых русских пушкарей.

Во время Великой Отечественной войны самоскрепление орудийных стволов в СССР не имело широкого применения, так как наша металлургия давала исключительно высококачественную сталь, чем и обеспечивалась надежная прочность стволов без использования самоскрепления.

5. **Ствол со свободным лейнером** (рис. 15). Внутренняя часть орудийного ствола, на которую непосредственно действуют газы, быстро изнашивается. Особенно быстро изнашиваются стволы мощных морских и зенитных пушек. Ствол морского орудия крупного калибра может весить 100 и более тонн. Отсюда очевидна важность быстрого восстановления такого ствола, если он окажется изношенным. Эту проблему успешно разрешили русские инженеры и мастера Обуховского завода

(сейчас завод «Большевик» в Ленинграде) во второй половине XIX в. (с 1870 г.).

Русские инженеры разработали конструкцию сменной тонкостенной трубы, вставляемой в ствол с весьма малым зазором. Такая труба вставлялась и вынималась без нагрева

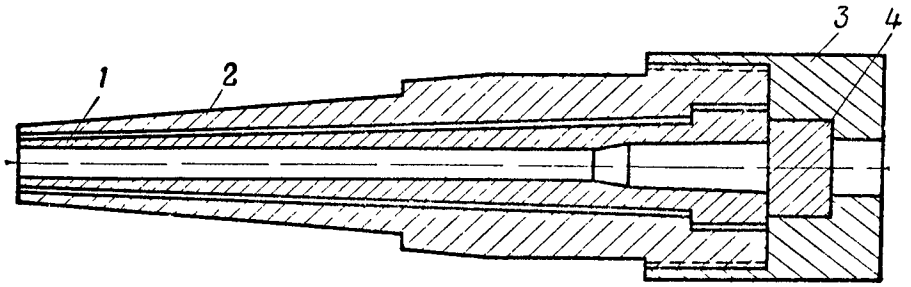


Рис. 15. Ствол со свободным лейнером (схема):
1 — лейнер; *2* — оболочка; *3* — казенник; *4* — затвор

ствола и без применения больших усилий. Зазор был настолько мал, что выбирался при небольшом давлении газов, чем обеспечивалось участие в работе всего металла ствола во время выстрела.

Осуществление такой конструкции возможно только при наличии высокой точности механической обработки поверхностей сопряжения трубы и остальной части ствола.

За границей подобные конструкции легко сменяемых внутренних труб стали применять только в конце первой мировой войны. Эти трубы получили название л е й н е р о в.

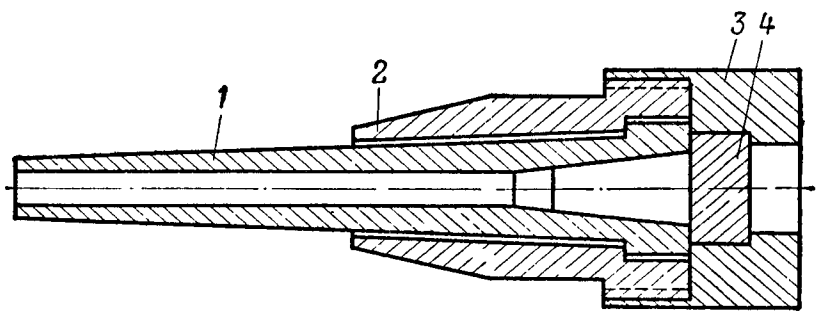


Рис. 16. Ствол со свободной трубой (схема):
1 — свободная труба; *2* — оболочка; *3* — казенник; *4* — затвор

Для удобства сборки и разборки лейнеры имеют, как правило, коническую наружную поверхность, покрываемую специальной смазкой. Остальная часть ствола, в которую вставляется лейнер, называется оболочкой ствола.

Металл, который идет на изготовление лейнера, должен быть очень высокого качества.

В России применялись также стволы со сменяемыми трубами, которые вставлялись в оболочку ствола с небольшим натяжением. Такая сменяемая труба называется скрепленным лейнером.

Конструкция стволов с тонкостенными сменяемыми трубами (лейнерами) особенно выгодна для крупнокалиберных орудий.

Широкого применения лейнеры не получили вследствие сложности их производства.

6. **Ствол со свободной трубой** (рис. 16). Свободная труба отличается от свободного лейнера тем, что она покрывается оболочкой ствола не по всей своей длине. Такие стволы со свободной трубой имеются, например, у некоторых 152-*мм* гаубиц-пушек обр. 1937 г.

Так как свободная труба покрывается оболочкой ствола не по всей длине, стенки трубы делают более толстыми, чем стенки свободного лейнера.

Изготовить ствол со свободной трубой проще, чем ствол со свободным лейнером, так как поверхности точной обработки у ствола со свободной трубой значительно меньше, чем у ствола со свободным лейнером.

Для производства стволов со свободными трубами требуются весьма высокий уровень машиностроения и высокая квалификация рабочих.

Применение самоскрепления свободных лейнеров и труб позволяет при производстве их использовать металл с меньшим пределом упругости и менее легированный.

7. **Ствол с трубой-моноблоком** (рис. 17). Трубой-моноблоком называется труба, вставляемая в оболочку ствола с большим зазором, не выбирающимся при выстреле (подобная конструкция ствола у 122-*мм* гаубицы обр. 1938 г.). Только для исключения возможности перекоса трубы-моноблока имеются два участка точного сопряжения трубы с оболочкой ствола у казенной части трубы и у начала оболочки.

Производство трубы-моноблока весьма просто (в отношении обработки поверхностей сопряжения трубы с оболочкой). Труба-моноблок должна одна полностью выдерживать внутреннее давление пороховых газов, поэтому она делается из высококачественного материала и имеет сравнительно толстые стенки.

Оболочка ствола обеспечивает правильное положение трубы-моноблока относительно люльки, увеличивает вес откатных частей, воспринимает во время выстрела нагрузки, передаваемые от затвора и казенника, и несет на себе захваты или другие устройства для направления движения ствола во время отката и наката.

Эта конструкция позволяет делать оболочку из малолегированной стали.

8. **Разборные стволы.** Такие стволы имеются у горных орудий. Они разбираются на небольшие по размерам и по весу вьюки. Например, у 76-*мм* пушки обр. 1938 г. ствол разбирается на три части (рис. 18).

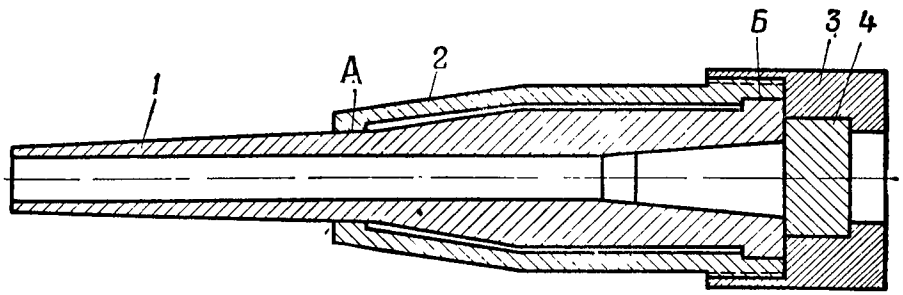


Рис. 17. Ствол с трубой-моноблоком (схема):
1 — труба-моноблок; *2* — оболочка; *3* — казенник; *4* — затвор; *А* и *Б* — участки точного сопряжения трубы с оболочкой

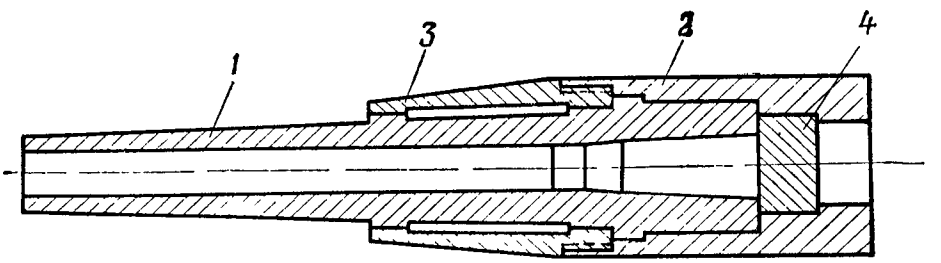


Рис. 18. Разборный ствол горной пушки (схема):
1 — труба; *2* — казенник; *3* — муфта; *4* — затвор

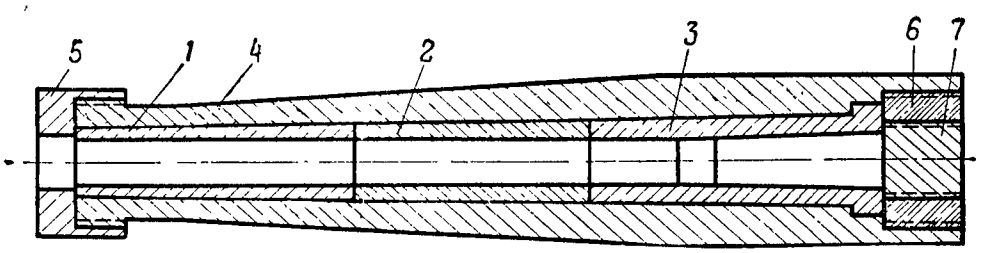


Рис. 19. Ствол с составной по длине трубой (схема):
1, 2, 3 — элементы составной трубы; *4* — оболочка ствола; *5* — дульная гайка; *6* — ввинтной казенник; *7* — затвор

В стволах этого типа зазор между трубой и оболочкой во время выстрела не выбирается. При выстрелах стволы горных орудий подвергаются сравнительно небольшим давлениям пороховых газов, поэтому для изготовления этих стволов не требуется особо высококачественной стали.

9. **Стволы с составными трубами или лейнерами** (рис. 19). Для того чтобы можно было заменить только часть трубы (или лейнера), которая подверглась разгару, применяют (для некоторых орудий) составные трубы (лейнеры), состоящие из нескольких элементов по длине.

Отдельные элементы составной по длине свободной трубы или лейнера могут изготовляться из различных сортов стали в соответствии с величиной нагрузки во время выстрела.

Замена части трубы орудийного ствола в русской артиллерии производилась еще во второй половине XIX в.

Составные по длине трубы целесообразно применять в стволах, подвергающихся большим давлениям пороховых газов, а также в очень длинных стволах или в стволах, имеющих особое внутреннее устройство с цилиндро-коническими каналами (рис. 20) или с гладкой поверхностью части канала ствола.

Стволы малокалиберной и противотанковой артиллерии могут быть однослойными, но вместе с тем составленными по длине из нескольких частей, соединенных между собой с помощью специальных муфт. В этом случае каналы могут быть

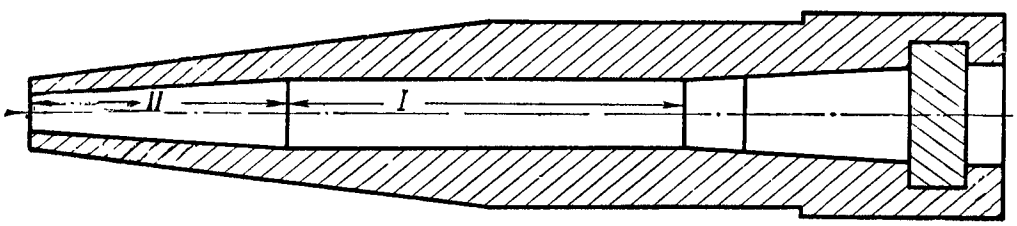


Рис. 20. Ствол с цилиндро-коническим каналом (схема):
I — цилиндрическая часть канала; *II* — коническая часть канала

различного устройства — цилиндрические, конические, коническо-цилиндрические, цилиндро-конические. Подробнее об этом изложено далее.

Области применения стволов различных конструкций. На основании рассмотренных кратких характеристик стволов различных конструкций и фактических данных можно сделать следующие ориентировочные выводы о целесообразности применения тех или иных типов стволов.

Для орудий малых и средних калибров наиболее целесообразно применять стволы-моноблоки.

Для орудий крупных калибров могут применяться стволы скрепленные, а также со свободными трубами или со свободными лейнерами.

Стволы со свободными лейнерами наиболее целесообразно применять для длинноствольных орудий большой мощности, у которых износ канала ствола больше, чем у орудий средних и малых калибров.

§ 2. ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ОРУДИЙНЫМ СТВОЛАМ

К орудийным стволам предъявляются следующие основные требования:

1. Ствол должен быть надежно прочным. Поэтому при изготовлении ствола должны учитываться допустимые в усло-

виях боевой эксплуатации изменения механических свойств и внутренних напряжений металла (вследствие нагрева и охлаждения металла и изменения давления пороховых газов); кроме того, должен учитываться допустимый износ ствола в течение всего времени его эксплуатации (уменьшение толщины стенок ствола).

2. Ствол должен обладать высокой живучестью. Это требование обеспечивается в первую очередь подбором специальных вязких сортов стали, сохраняющих свои механические свойства в течение всей жизни ствола. Живучесть ствола в сильной степени зависит от баллистики орудия: она снижается под влиянием высоких давлений пороховых газов и очень высоких температур горения пороха. Живучесть зависит также от устройства нарезов и каморы ствола, от чистоты обработки поверхности канала и больше всего от условий эксплуатации орудия.

3. Конструкция ствола должна обеспечивать простоту и быстроту изготовления большого количества стволов с полной взаимозаменяемостью деталей.

4. Конструкция ствола должна обеспечивать простоту и быстроту сборки, разборки и ремонта с заменой негодных деталей новыми без применения сложных приспособлений.

5. Толщина стенок ствола должна обеспечивать сопротивляемость ствола ударам на походе о местные предметы и ударам бронебойных пуль и осколков артиллерийских снарядов.

§ 3. О МЕТАЛЛАХ ДЛЯ ОРУДИЙНЫХ СТВОЛОВ

(историческая справка)

Наше отечественное орудийное производство на протяжении всей своей истории отличалось исключительно высоким качеством. Русские мастера-пушкари уже в XIV—XV вв. знали все секреты производства орудий и являлись непревзойденными специалистами по получению огромных высококачественных отливок весом в десятки тонн.

С XV по XVIII в. орудийные стволы делали литыми из железа, меди, бронзы, чугуна, стали. С начала XIX в. в России наряду с литыми стволами начали производить и кованые стальные стволы (из одной большой заготовки).

Русь и в древние времена не нуждалась в привозном металле и изготовляла вооружение из своего сырья и своими силами, несмотря на то, что находилась под гнетом татарского ига и боролась с различными иноземными захватчиками. Вещественными доказательствами сравнительно высокого уровня артиллерийской техники на Руси в XV и XVI вв. служат образцы орудий, хранящиеся в Артиллерийском историческом музее.

Известно, что Иван Грозный имел самую лучшую артиллерию в мире (для того времени). При Петре I русская артиллерия получила еще большее развитие.

Историческим примером, свидетельствующим о высоком качестве металла и прочности русских орудий при Петре I, является „модернизация" русской артиллерии путем применения усиленных зарядов без какой-либо переделки орудий. Это можно было сделать только благодаря тому, что русские орудия отличались большой прочностью. В результате такой „модернизации" боевые свойства русской артиллерии резко повысились.

В XVIII в. началось новое бурное развитие русской железоделательной промышленности.

Россия в XVIII в. занимала первое место в мире по производству чугуна и стали (по количеству и качеству). Научные основы металлургии впервые были заложены гениальным ученым М. В. Ломоносовым, написавшим специальные учебники по металлургии в 1742 г. и в 1763 г.

Уральские мастера-пушкари на основании работ М. В. Ломоносова и своего богатейшего опыта в начале XIX в. освоили производство кованых стальных стволов.

Продолжателем дела М. В. Ломоносова и уральских мастеров-пушкарей был выдающийся горный инженер П. П. Аносов, применивший впервые в 1831 г. для исследования стали микроскоп и проделавший огромную исследовательскую работу в области производства специальных сталей для артиллерии (на уральских заводах) [1].

Полное разрешение задачи производства специальных орудийных сталей в большом масштабе и самого лучшего качества принадлежит русским металлургам. Эта задача была разрешена в середине XIX в. под руководством выдающегося металлурга П. М. Обухова на уральских заводах. Первые стволы из обуховской стали были изготовлены в г. Златоусте в 1850 г. В дальнейшем П. М. Обухов организовал крупное сталелитейное и артиллерийское производство в Петербурге, где он работал до 1869 г.

В 1862 г. на Всемирной выставке в Лондоне русская пушка конструкции профессора Артиллерийской академии Маиевского, изготовленная в 1860 г. из обуховской стали, была признана лучшим орудием в мире и премирована.

---

[1] Необходимо отметить, что так называемые железные стволы XIV—XVIII вв. в действительности в основной своей массе были стальными. В те времена слово «сталь» редко употреблялось, так как не существовало точного химического анализа. Производство же сталей в нашей стране было освоено еще в период Киевской Руси. Последние исследования показали, что в XVI—XVIII вв. производство стальных стволов в России получило весьма широкое распространение (см. «Арт. журнал» № 8 за 1951 г.).

Из этой пушки до показа ее на выставке было произведено 4000 выстрелов. Однако баллистические свойства пушки от этого почти не изменились.

Появление в России пушек со стальными стволами было крупным шагом вперед в деле повышения могущества и живучести артиллерии. Вслед за Россией и другие страны перешли к производству орудий со стволами из особых орудийных сталей [1].

Коренной переворот в науке о металлах, особенно в области металлургии сталей, сделал известный русский ученый Д. К. Чернов (1839—1921 гг.). Работая на Обуховском заводе (с 1866 г.), он освоил весь опыт П. М. Обухова и сделал свои знаменитые открытия об изменениях структуры стали при изменении температуры (критические точки Чернова). Свои исследования Д. К. Чернов опубликовал в 1868 г. Его открытия послужили прочной научной основой для всей технологии металлургии и термообработки. Д. К. Чернов считается отцом металлографии. Большое значение открытий Д. К. Чернова были вынуждены признать все иностранные ученые.

В 1900 г. на международной выставке в Париже директор французских металлургических заводов фирмы Шамон в своей речи, обращенной к металлургам, заявил:

«Считаю своим долгом открыто и публично перед столькими знатоками и специалистами заявить, что наш завод и все сталелитейное дело своим настоящим развитием и успехами обязано в большей степени работам и исследованиям русского техника г. Чернова, и приглашаю вас выразить ему нашу искреннюю признательность и благодарность от имени всей металлургической промышленности».

С 1889 г. Д. К. Чернов работал в Михайловской артиллерийской академии в качестве профессора металлургии. И здесь он продолжал заниматься исследованием вопросов, связанных с производством и службой материальной части артиллерии. Он разработал наиболее точную теорию износа орудийных стволов. Его теория указала конструкторам и производственникам и всем артиллеристам пути повышения живучести орудийных стволов. Д. К. Чернов создал наиболее передовую русскую школу металлургов.

---

[1] О передовом характере развития русской артиллерии в 60-х годах XIX в. свидетельствуют следующие слова, высказанные военным министром России генералом Милютиным Д. А. в докладе 1 января 1869 г. (генерал Милютин был одним из образованных и передовых военных деятелей того времени). Он говорил: «В области изобретений мы достигли таких успешных результатов, что смело можем считать себя опередившими другие государства, настойчиво преследующие те же цели. Англия и Франция не имеют стальных орудий, а Пруссия и Бельгия заказывают для себя орудия на заводе Круппа по нашим русским чертежам» (Речь шла об орудиях, изобретенных русскими академиками Маиевским и Гадолиным.)

Огромную работу проделали советские металлурги во главе с академиками Байковым А. А., Бардиным И. П., Павловым М. А. и Гудцовым Н. Т. по развитию самой передовой в мире металлургии специальных сталей. Благодаря успехам отечественной металлургии материальная часть советской артиллерии отличается большой прочностью, безотказностью действия и большой живучестью.

Орудийные стволы современной артиллерии делают из специальных орудийных сталей, качество которых зависит от их химического состава, от технологии получения и термической обработки.

В орудийных сталях имеются так называемые легирующие добавки, улучшающие основные свойства сталей. В качестве легирующих добавок применяют никель, хром, молибден, ванадий, марганец и некоторые другие элементы.

§ 4. НАПРЯЖЕНИЯ И ДЕФОРМАЦИИ В СТЕНКАХ СТВОЛА

1. Главные напряжения в цилиндрической трубе, подверженной действию внутреннего и наружного давлений

Строго научную теорию расчета орудийных стволов впервые в мире (в середине XIX в.) создал русский артиллерист профессор Гадолин А. В. На основе его теории расчет стволов ведется во всех государствах. Большой вклад в дело развития передовой советской науки по проектированию стволов внес профессор Дроздов Н. Ф.

Для расчета стволов на прочность необходимо знать характер напряжений и деформаций, возникающих в металле ствола во время выстрела (с учетом напряжений и деформаций, полученных в процессе производства, для скрепленных стволов).

В металле ствола под действием давления пороховых газов возникают различные по направлению и величине деформации и напряжения. В поперечных, перпендикулярных к оси канала ствола, сечениях (рис. 21) происходит растяжение металла по всем окружностям, имеющим центр на оси канала, и одновременно — сжатие по радиальным направ-

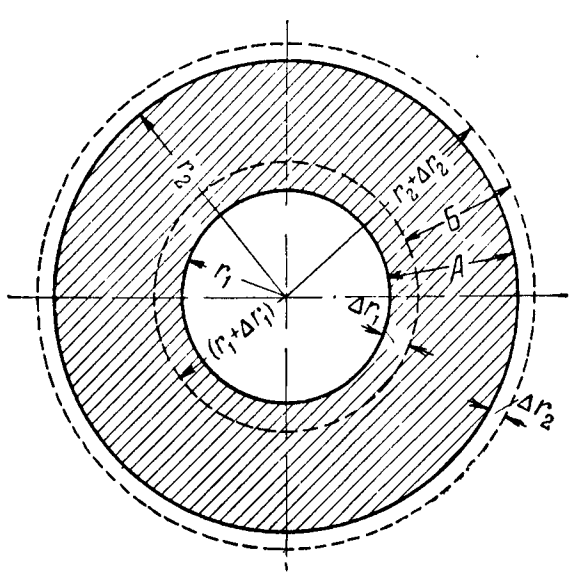


Рис. 21. Деформация ствола в поперечном сечении во время выстрела

лениям (аналогично тому, как растягивается резиновое кольцо, если его надевать на большой цилиндр).

В продольном сечении ствола в металле происходит осевое растяжение под действием сил инерции ствола, направленных вперед, и силы давления пороховых газов на дно канала, направленной назад (рис. 22).

На рис. 21 показано поперечное сечение ствола до выстрела (радиусы r_1 и r_2) и во время выстрела (радиусы $r_1 + \Delta r_1$ и $r_2 + \Delta r_2$). Толщина ствола в радиальном направлении до выстрела равнялась $A = r_2 - r_1$, а во время выстрела стала равной $Б = A - \Delta r_1 + \Delta r_2$, причем $Б < A$. Внутренняя

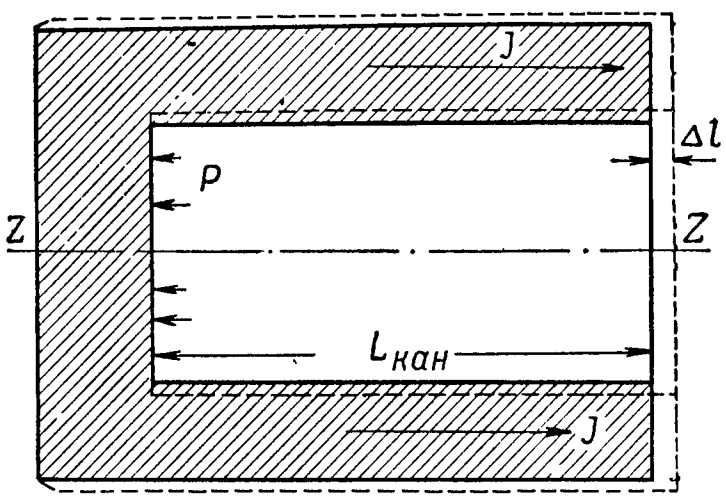


Рис. 22. Деформация ствола в продольном сечении во время выстрела:
Z-Z — ось канала ствола; $L_{кан}$ — длина канала ствола

окружность до выстрела имела длину $2\pi r_1$, а во время выстрела $2\pi(r_1 + \Delta r_1)$, т. е. произошло удлинение окружности на величину $2\pi \cdot \Delta r_1$. Аналогично этому и длина наружной окружности увеличилась на величину $2\pi \cdot \Delta r_2$. Из рисунка видно, что в окружных направлениях происходит растяжение металла, а в радиальных направлениях — сжатие металла.

На рис. 22 показано продольное сечение ствола до выстрела (сплошной линией) и во время выстрела (пунктиром). Под действием сил давления газов (P) на дно каморы и силы инерции металла ствола (J) происходит растяжение ствола в осевом направлении. Общее удлинение ствола равно Δl.

Одновременно с деформациями в металле ствола возникают и напряжения:

σ_k — окружные или тангенциальные (т. е. касательные), так как направление окружности в любой ее точке совпадает с направлением касательной к окружности в данной точке;

σ_r — радиальные, направленные по радиусам;
σ_z — осевые, параллельные оси ствола.

Направление напряжений в произвольной точке (m) ствола показано на рис. 23.

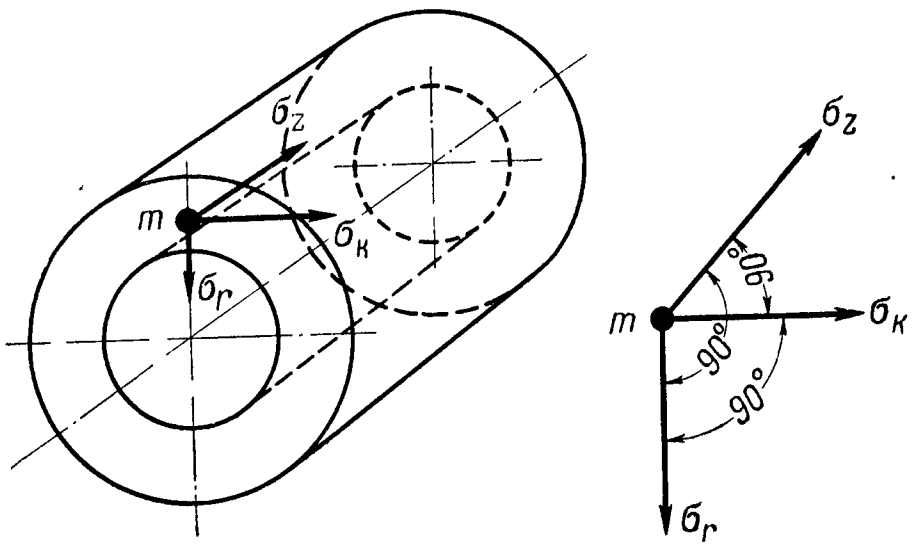


Рис. 23. Схема направлений главных напряжений в любой точке ствола во время выстрела

Из сопротивления материалов известно, что если напряжения в металле превосходят определенную величину (временное сопротивление $\sigma_в$), то происходит разрушение изделия. В применении к стволу это значит, что если окружные (тангенциальные) напряжения будут выше определенных допусти-

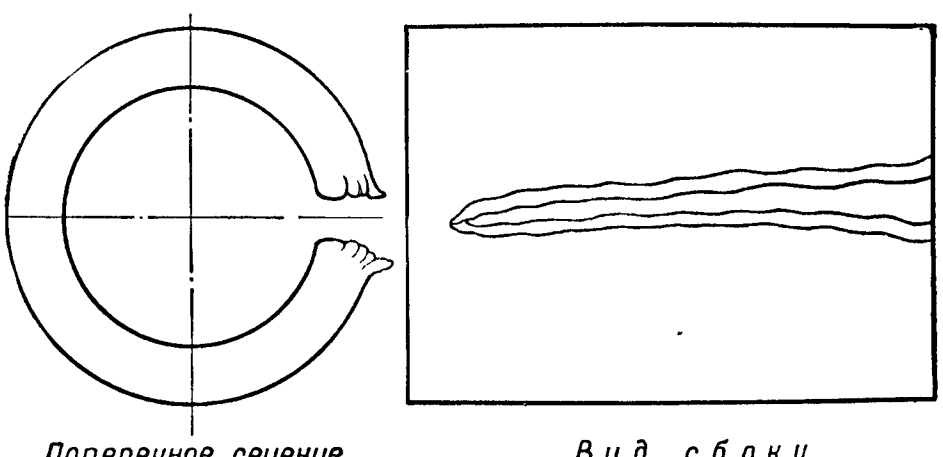


Рис. 24. Продольный разрыв ствола

мых значений, то произойдет так называемый продольный разрыв ствола (рис. 24): ствол «раскроется» частично или полностью. Если же осевые напряжения окажутся

выше допустимого значения, то произойдет так называемый поперечный разрыв ствола (рис. 25).

Так как между напряжениями и соответствующими им деформациями существует определенная связь, то расчет стволов можно производить либо по напряжениям, либо по деформациям.

В СССР и почти во всех других странах обычные стволы (не самоскрепленные) рассчитывают на прочность по деформациям. При этом задача решается в общем виде не для абсолютных деформаций, а для относительных, т. е. приходящихся на единицу длины.

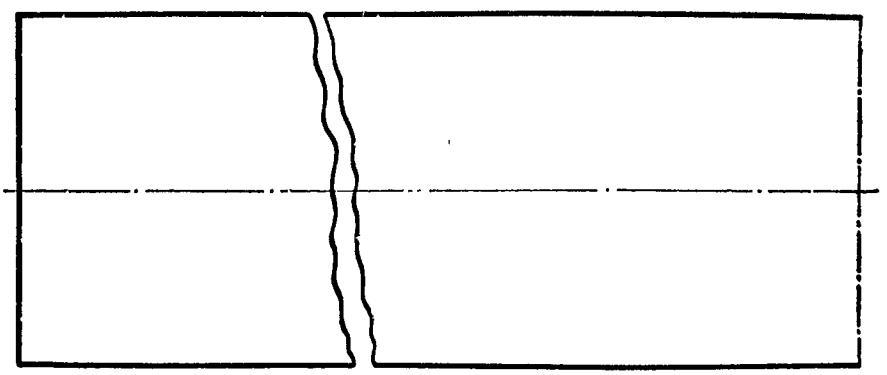


Рис. 25. Поперечный разрыв ствола

2. Связь между давлением газов в стволе-моноблоке и напряжениями в любой точке ствола, вызванными давлением газов

(см. рис. 23)

А. В. Гадолин, исследуя условия равновесия цилиндрической трубы, находящейся под действием внутреннего давления, установил следующие зависимости между напряжениями в любой точке металла трубы (удаленной от оси трубы на величину радиуса r) и давлением P_1:

а) для тангенциального напряжения

$$\sigma_k = P_1 \frac{r_1^2}{r^2} \cdot \frac{r_2^2 + r^2}{r_2^2 - r_1^2}, \text{ т. е. } \sigma_k > 0;$$

б) для радиального напряжения

$$\sigma_r = -P_1 \frac{r_1^2}{r^2} \cdot \frac{r_2^2 - r^2}{r_2^2 - r_1^2}, \text{ т. е. } \sigma_r < 0;$$

в) для осевого напряжения

$$\sigma_z = P_1 \frac{r_1^2}{r_2^2 - r_1^2}, \text{ т. е. } \sigma_z > 0.$$

Знаком «плюс» обозначают растяжение, а знаком «минус» — сжатие. Следовательно, во всех точках ствола во время выстрела происходит растяжение в тангенциальном (окружном) и осевом направлениях и сжатие — в радиальном направлении.

Так как в пределах трубы расстояние точки от оси может быть не менее r_1 и не более r_2, то наибольшее значение абсолютных величин σ_k и σ_r будет при наименьшем значении радиуса $r = r_1$, т. е. на внутренней поверхности ствола:

$$\sigma_{k,\,\max} = \sigma_{k,\,1} = P_1 \frac{r_2^2 + r_1^2}{r_2^2 - r_1^2}$$

и

$$|\sigma_r|_{\max} = |\sigma_{r,\,1}| = P_1 \frac{r_2^2 - r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} = P_1.$$

Последнее равенство показывает, что радиальное напряжение на внутренней поверхности трубы равно по абсолютной величине давлению (действие по величине равно противодействию). На наружной поверхности радиальное напряжение равно нулю, так как принято допущение, что атмосферное давление равно нулю ($P_2 = 0$), т. е. $\sigma_{r2} = 0$.

3. Относительные деформации в трубе

Радиальной деформацией (рис. 26) называется изменение расстояния $l_п$ (во время действия нагрузки) между

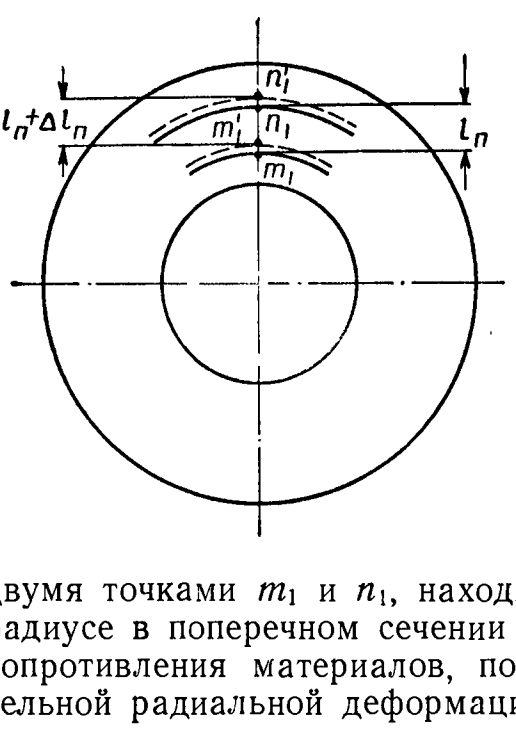


Рис. 26. Радиальная деформация в трубе. Пунктиром показано положение двух тончайших цилиндрических слоев во время деформации:

$l_п$ — расстояние между слоями до деформации; $(l_п + \Delta l_п)$ — расстояние между слоями во время деформации

двумя точками m_1 и n_1, находящимися на одном и том же радиусе в поперечном сечении трубы. Применяя общий метод сопротивления материалов, получим выражение для относительной радиальной деформации (ε_r):

$$\varepsilon_r = \frac{\Delta l_п}{l_п} = \frac{m_1' n_1' - m_1 n_1}{m_1 n_1},$$

где буквами m_1 и n_1 обозначено положение двух точек в металле до деформации, а буквами m'_1 и n'_1 — их положение во время деформации; $\Delta l_п$ — изменение расстояния.

Осевой деформацией (рис. 27) называется изменение расстояния между точками m_2 и n_2, находящимися на прямой, параллельной оси трубы. Выражение для относительной осевой деформации будет:

$$\varepsilon_z = \frac{\Delta l_п}{l_п} = \frac{m'_2 n'_2 - m_2 n_2}{m_2 n_2}.$$

Тангенциальной, или окружной, деформацией (рис. 28) называется изменение расстояния между двумя точками m_3 и n_3, лежащими на одной и той же окружности в поперечном сечении, центр которой лежит на оси трубы.

$$\Delta l_п = \smile m'_3 n'_3 - \smile m_3 n_3,$$

$$\varepsilon_k = \frac{\smile m'_3 n'_3 - \smile m_3 n_3}{\smile m_3 n_3},$$

где

$$\smile m_3 n_3 = r\Delta\theta; \quad \smile m'_3 n'_3 = (r + \Delta r)\,\Delta\theta.$$

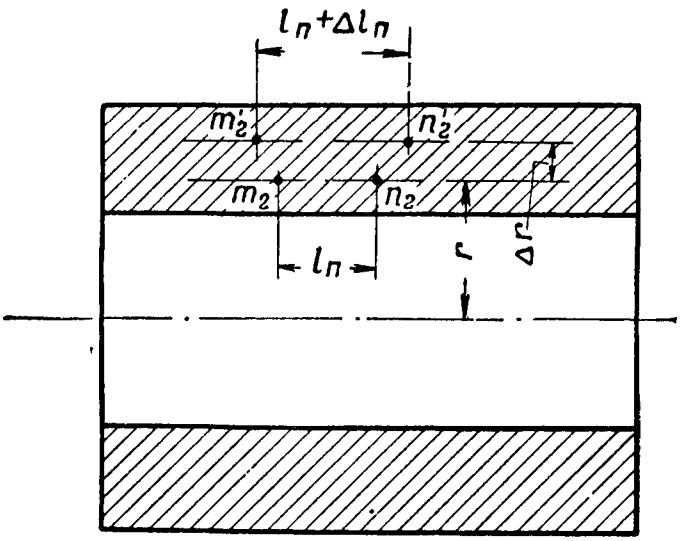


Рис. 27. Осевая деформация

Длина дуги окружности прямо пропорциональна длине радиуса, поэтому тангенциальная деформация прямо пропорциональна изменению длины радиуса. Относительная тангенциальная деформация численно равна относительному изменению длины радиуса данной окружности.

Отсюда выражение для относительной тангенциальной деформации будет иметь вид

$$\varepsilon_k = \frac{(r + \Delta r)\,\Delta\theta - r\Delta\theta}{r\Delta\theta} = \frac{\Delta r}{r}.$$

Итак,

$$\varepsilon_k = \frac{\Delta r}{r} \text{ или } \varepsilon_k = \frac{\Delta d}{d},$$

где Δr — изменение длины радиуса за счет деформации;
Δd — изменение длины диаметра.

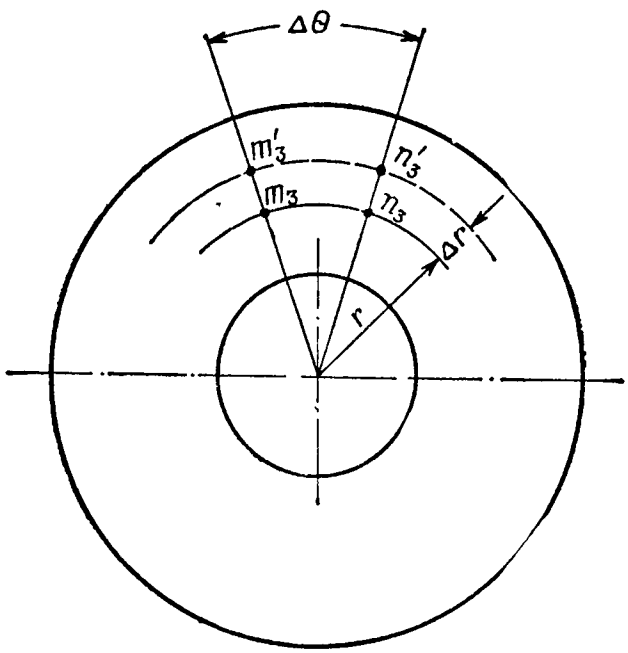


Рис. 28. Тангенциальная деформация

4. Связь между давлением газов в моноблоке и относительными деформациями, вызванными этим давлением

На основании известной из сопротивления материалов связи между деформациями и напряжениями в трех взаимно перпендикулярных направлениях можно написать следующие выражения:

$$\varepsilon_k = \frac{1}{E}(\sigma_k - \mu\sigma_r - \mu\sigma_z),$$

$$\varepsilon_r = \frac{1}{E}(\sigma_r - \mu\sigma_z - \mu\sigma_k),$$

$$\varepsilon_z = \frac{1}{E}(\sigma_z - \mu\sigma_k - \mu\sigma_r).$$

где E — модуль упругости 1-го рода (растяжения или сжатия); для орудийных сталей $E = 2{,}1 \cdot 10^6 - 2{,}2 \cdot 10^6$ *кг/см²*;
μ — коэффициент Пуассона; для стали $\mu = \frac{1}{3}$.

Так как в моноблоке наибольшими по величине являются тангенциальные деформации, ограничимся разбором выражения только для них:

$$E\varepsilon_k = \sigma_k - \mu\sigma_r - \mu\sigma_z = \sigma_k - \frac{1}{3}\sigma_r - \frac{1}{3}\sigma_z.$$

Произведение $E\varepsilon_k$, имеющее размерность *кг/см*^{2}, называется приведенным тангенциальным напряжением.

Величину $\left(-\frac{1}{3}\sigma_z\right)$ обычно отбрасывают для упрощения формул. При этом получаются завышенные значения напряжений $E\varepsilon_k$, чем и обеспечивается при расчетах увеличение запаса прочности, так как расчетная (завышенная) величина напряжений не должна превосходить предела упругости металла.

Подставляя в последнюю формулу вместо σ_k и σ_r их значения, выраженные через P_1, получим

$$E\varepsilon_k = \frac{2}{3} P_1 \frac{r_1^2}{r^2} \cdot \frac{2r_2^2 + r^2}{r_2^2 - r_1^2}.$$

Из этой формулы следует, что наибольшее значение $E\varepsilon_k$ будет при наименьшем радиусе (при $r = r_1$), т. е. на внутренней поверхности моноблока.

$$(E\varepsilon_k)_{\max} = E\varepsilon_{k,1} = \frac{2}{3} P_1 \frac{2r_2^2 + r_1^2}{r_2^2 - r_1^2}.$$

Ниже приводится диаграмма распределения напряжений и деформаций в моноблоке во время выстрела (рис. 29). На этой диаграмме показана типичная картина распределения главных и приведенных напряжений. Напряжения откладываются от оси X вверх (положительные) и вниз (отрицательные) в одном и том же масштабе.

На диаграмме построены напряжения для точек, лежащих на оси X, но вследствие симметрии сечения эта диаграмма также применима ко всем точкам трубы, лежащим в данном сечении; все точки, равно удаленные от оси трубы (от центра сечения), одинаково напряжены.

Из диаграммы видно, что больше всего напряжен металл на внутренней поверхности ствола и что самыми большими напряжениями являются приведенные тангенциальные напряжения на внутренней поверхности.

Из диаграммы также видно, что чем дальше от оси находится слой металла, тем он менее напряжен; другими словами, металл ствола во время выстрела нагружен резко неравномерно.

Поэтому нецелесообразно значительно повышать сопротивление ствола за счет увеличения толщины его стенок; это привело бы лишь к утяжелению системы. Практически толщина стенок ствола рассчитывается так, чтобы она была не более

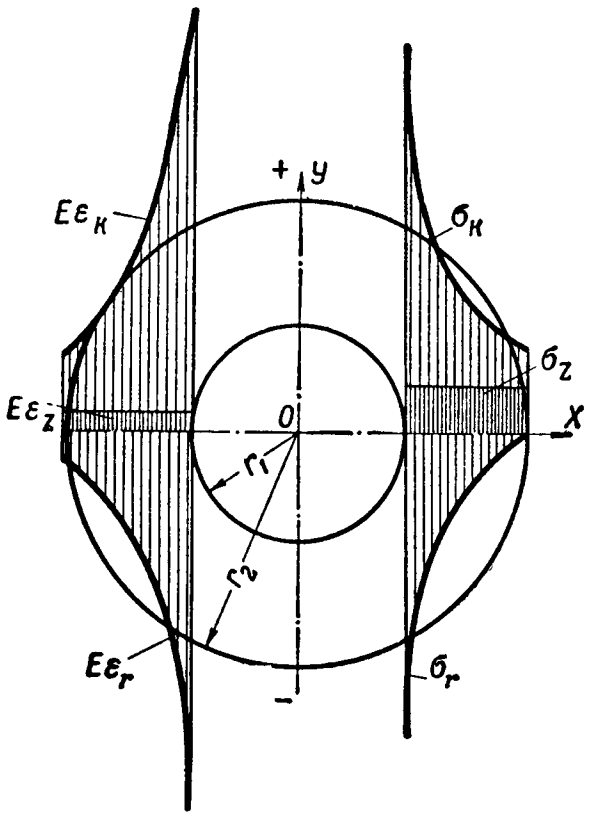


Рис. 29. Диаграмма напряжений в моноблоке при выстреле

внутреннего диаметра. Прочность стволов, подвергающихся высокому давлению газов, в основном обеспечивается не за счет увеличения толщины стенок, а за счет повышения предела упругости металла.

В скрепленных стволах удается изменить картину напряжений и сделать участие всех слоев в сопротивлении давлению газов более равномерным.

ГЛАВА II

ПОНЯТИЕ О ПРОВЕРОЧНОМ РАСЧЕТЕ СТВОЛОВ-МОНОБЛОКОВ

§ 1. ПРЕДЕЛ УПРУГОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ МОНОБЛОКА ПРИ РАСЧЕТЕ ПО НАИБОЛЬШЕЙ ДЕФОРМАЦИИ

Пределом упругого сопротивления моноблока называется такое внутреннее давление P_1, при котором наибольшее приведенное напряжение равно пределу упругости металла σ_e. В связи с тем, что в моноблоке наибольшими деформациями и приведенными напряжениями являются тангенциальные, расчет ствола необходимо производить по тангенциальной деформации. Поэтому можно считать, что давление P_1 становится равным пределу упругого сопротивления моноблока, когда $E\varepsilon_{k,\max} = \sigma_e$. Так как $E\varepsilon_{k,\max} = E\varepsilon_{k,1}$, то для предела упругого сопротивления будет иметь место $E\varepsilon_{k,1} = \sigma_e$ (рис. 30).

Выведем выражение для предела упругого сопротивления. Для этого возьмем известное нам уравнение, выражающее зависимость между давлением P_1 и приведенным тангенциальным напряжением $E\varepsilon_{k,1}$:

$$E\varepsilon_{k,1} = \frac{2}{3} P_1 \frac{2r_2^2 + r_1^2}{r_2^2 - r_1^2}.$$

Решим это уравнение относительно P_1 с учетом, что $E\varepsilon_{k,1} = \sigma_e$. Тогда получим

$$P_1 = \frac{3}{2} \sigma_e \frac{r_2^2 - r_1^2}{2r_2^2 + r_1^2}.$$

Это и есть выражение (основная формула) для

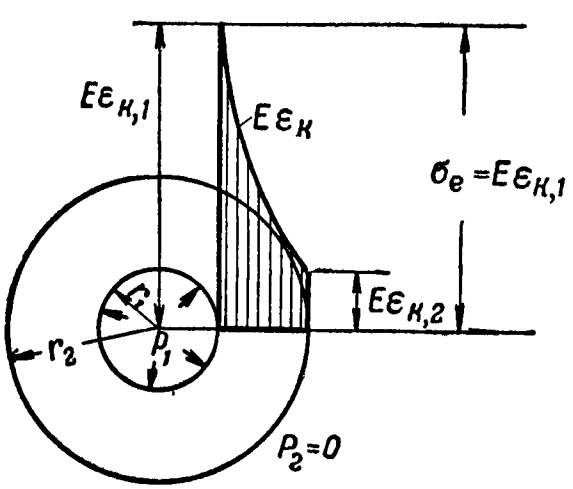


Рис. 30. Диаграмма приведенных тангенциальных напряжений в моноблоке при давлении, равном пределу упругого сопротивления

предела упругого сопротивления моноблока. Последнюю формулу можно представить в двух других видах, наиболее удобных для вычислений.

Если обозначим $\frac{r_2}{r_1} = a_1$, то получим

$$P_1 = \frac{3}{2}\sigma_e \frac{a_1^2 - 1}{2a_1^2 + 1}.$$

Практически величину a_1 принимают равной не более 3, так как иначе стволы получатся с чрезмерно толстыми стенками.

Для расчета с помощью таблицы (см. ниже) вводят отвлеченную величину y_1, характеризующую относительную толщину стенок ствола:

$$y_1 = \frac{3r_2^2}{2r_2^2 + r_1^2} = \frac{3a_1^2}{2a_1^2 + 1}.$$

Формула для предела упругого сопротивления моноблока, выраженная через y_1, будет иметь следующий вид:

$$P_1 = \frac{3}{2}\sigma_e (y_1 - 1).$$

Значение величины y_1 колеблется от 1 до 1,5.

Расчет по последней формуле с помощью таблицы наиболее прост.

Таблица значений $y_1 = \frac{3r_2^2}{2r_2^2 + r_1^2}$ в зависимости от значений $a_1 = \frac{r_2}{r_1}$

a_1	y_1	a_1	y_1	a_1	y_1
1,00	1,0000	1,16	1,0936	1,32	1,1655
1,01	1,0066	1,17	1,0987	1,33	1,1694
1,02	1,0131	1,18	1,1037	1,34	1,1733
1,03	1,0195	1,19	1,1086	1,35	1,1771
1,04	1,0258	1,20	1,1134	1,36	1,1808
1,05	1,0320	1,21	1,1182	1,37	1,1845
1,06	1,0381	1,22	1,1228	1,38	1,1881
1,07	1,0441	1,23	1,1274	1,39	1,1916
1,08	1,0499	1,24	1,1319	1,40	1,1951
1,09	1,0557	1,25	1,1364	1,41	1,1986
1,10	1,0614	1,26	1,1407	1,42	1,2020
1,11	1,0670	1,27	1,1450	1,43	1,2053
1,12	1,0725	1,28	1,1493	1,44	1,2086
1,13	1,0779	1,29	1,1534	1,45	1,2118
1,14	1,0832	1,30	1,1575	1,46	1,2150
1,15	1,0885	1,31	1,1616	1,47	1,2181

Продолжение

a_1	y_1	a_1	y_1	a_1	y_1
1,48	1,2212	2,12	1,3498	2,78	1,4089
1,49	1,2243	2,14	1,3524	2,80	1,4101
1,50	1,2273	2,16	1,3548	2,82	1,4113
1,52	1,2331	2,18	1,3572	2,84	1,4124
1,54	1,2388	2,20	1,3596	2,86	1,4136
1,56	1,2443	2,22	1,3618	2,88	1,4147
1,58	1,2497	2,24	1,3641	2,90	1,4158
1,60	1,2549	2,26	1,3663	2,92	1,4169
1,62	1,2600	2,28	1,3684	2,94	1,4180
1,64	1,2649	2,30	1,3705	2,96	1,4190
1,66	1,2696	2,32	1,3725	2,98	1,4201
1,68	1,2743	2,34	1,3745	3,00	1,4211
1,70	1,2788	2,36	1,3764	3,05	1,4235
1,72	1,2831	2,38	1,3783	3,10	1,4258
1,74	1,2874	2,40	1,3802	3,15	1,4280
1,76	1,2915	2,42	1,3820	3,20	1,4302
1,78	1,2956	2,44	1,3838	3,25	1,4322
1,80	1,2995	2,46	1,3855	3,30	1,4342
1,82	1,3033	2,48	1,3872	3,35	1,4360
1,84	1,3070	2,50	1,3889	3,40	1,4378
1,86	1,3106	2,52	1,3905	3,45	1,4395
1,88	1,3141	2,54	1,3921	3,50	1,4412
1,90	1,3175	2,56	1,3937	3,55	1,4428
1,92	1,3209	2,58	1,3952	3,60	1,4443
1,94	1,3241	2,60	1,3967	3,65	1,4457
1,96	1,3273	2,62	1,3982	3,70	1,4472
1,98	1,3303	2,64	1,3996	3,75	1,4485
2,00	1,3333	2,66	1,4010	3,80	1,4498
2,02	1,3363	2,68	1,4024	3,85	1,4511
2,04	1,3391	2,70	1,4037	3,90	1,4523
2,06	1,3419	2,72	1,4050	3,95	1,4534
2,08	1,3446	2,74	1,4063	4,00	1,4545
2,10	1,3473	2,76	1,4076		

На практике могут встретиться три задачи по расчету стволов-моноблоков.

1. Определить предел упругого сопротивления ствола (P_1) в данном сечении по известным внутреннему и наружному радиусам (r_1 и r_2) и пределу упругости металла (см. формулы выше).

2. Определить необходимый предел упругости металла по известным размерам радиусов r_1 и r_2 и расчетной нагрузке P_1. В этом случае основная формула решается относительно σ_e, а именно:

$$\sigma_e = \frac{2}{3} P_1 \frac{2r_2^2 + r_1^2}{r_2^2 - r_1^2}$$

или

$$\sigma_e = \frac{2}{3} P_1 \frac{2a_1^2 + 1}{a_1^2 - 1},$$

или

$$\sigma_e = \frac{2}{3} P_1 \frac{1}{y_1 - 1}.$$

3. Определить необходимый наружный радиус r_2 в данном сечении по известным величинам r_1, σ_e и P_1. В этом случае основная формула решается относительно наружного радиуса r_2:

$$r_2 = r_1 \sqrt{\frac{3\sigma_e + 2P_1}{3\sigma_e - 4P_1}}.$$

§ 2. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ О ЗАПАСЕ ПРОЧНОСТИ СТВОЛОВ

Обеспечение надежной прочности стволов является одной из главнейших задач проектирования и производства орудий.

Ствол должен оставаться прочным при полном разгаре, при любом темпе и режиме огня, в любых температурных условиях, при плохой чистке и смазке, при любых допустимых отклонениях в весах снарядов и зарядов.

Конструктор обязан учитывать неоднородность металла по всей длине ствола и значительное изменение механических свойств металла с изменением температуры. Поэтому допустимые напряжения в стволе должны быть значительно меньше предела упругости металла трубы, чтобы во время стрельбы в стволе не получалось остаточных деформаций. Иными словами, должен быть предусмотрен запас прочности.

Увеличения запаса прочности можно достигнуть в основном двумя способами: во-первых, увеличением толщины стенок ствола и, во-вторых, увеличением предела упругости металла. Первый способ невыгоден, так как он приводит к увеличению веса орудия и понижению его маневренных свойств. Второй способ в этом отношении имеет все преимущества; недостатком его является только то, что при нем усложняется и затрудняется массовое производство.

Все наши орудия имеют надежно прочные стволы, но это вовсе не означает, что стрельбу можно вести без соблюдения требований Руководств службы и соответствующих Наставлений артиллерии. Чрезвычайно важно обеспечивать правильную эксплуатацию орудий. Ни в каких случаях нельзя допускать перегрузки металла, которая может быть в результате загрязнения ствола, неправильного заряжания и т. п.

Запас прочности характеризуется коэффициентом η (коэффициентом запаса прочности), равным отношению предела упругого сопротивления ствола, т. е. давления (P_1) в стволе, при котором наибольшие напряжения в металле равны пределу упругости металла (см. рис. 30), к баллистическому давлению ($P_б$), соответствующему нормальным условиям:

$$\eta = \frac{P_1}{P_б}.$$

Давление газов в стволе есть величина переменная; для каждого поперечного сечения ствола она имеет свое наибольшее значение, которое определяется по кривой давлений, как функция пути снаряда по каналу ствола. Поперечные размеры ствола также неодинаковы. Поэтому фактический запас прочности ствола является переменной величиной, и, следовательно, для каждого сечения ствола коэффициент η будет иметь свое значение.

Величина коэффициента η зависит также и от того, по какой теории прочности производится расчет.

Минимально необходимые значения коэффициента запаса прочности

В СССР расчет стволов на прочность ведут по теории наибольших деформаций (II теория). Согласно этой теории при расчете стволов принимают следующие обязательные минимальные значения коэффициента запаса прочности:

а) для сечений в области нарезной части канала ствола коэффициент запаса прочности должен быть не менее 1,35, т. е.

$$\eta_{нар} \geqslant 1{,}35;$$

б) для сечений в области каморы коэффициент запаса прочности должен быть не менее 1,20 (как крайняя нижняя допускаемая, но нежелательная величина):

$$\eta_{кам} \geqslant 1{,}20;\ \text{лучше, если}\ \eta_{кам} > 1{,}25.$$

О запасе прочности в области каморы. Для сечений ствола в области каморы допустим меньший запас прочности, чем для сечений в области нарезной части канала ствола. Это объясняется наличием причин, облегчающих условия работы металла ствола каморной части. Основные из этих причин следующие:

— отсутствие нарезов, ослабляющих внутреннюю поверхность ствола;

— меньший износ каморной части;

— отсутствие дополнительной нагрузки от ведущего пояска снаряда;

— менее высокая температура нагрева, а при гильзовом заряжании, кроме того, отсутствие резкого изменения температуры нагрева поверхности каморы;

— сравнительно плавное нарастание давлений от атмосферного до P_{max} (в области нарезов давление перед ведущим пояском примерно атмосферное, а после прохода ведущим пояском какого-либо сечения оно сразу же подвергается давлению, действующему в этот момент в заснарядном пространстве канала, т. е. происходит резкий скачок давления).

В области каморы в металле имеют место весьма высокие осевые напряжения растяжения, заметно противодействующие поперечному (окружному) растяжению стенок ствола, т. е. уменьшаются напряжения $E\varepsilon_k$, по которым принято вести расчет на прочность по II теории.

О запасе прочности для дульной части ствола. Минимальная величина коэффициента запаса прочности для всей области нарезной части канала ствола должна быть не менее 1,35 (при расчете по II теории прочности). При конструировании же дульной части ствола принимают коэффициент запаса прочности равным не менее 1,5 (до 2,0 и даже более, особенно для минометов) по следующим соображениям:

— в дульной части снаряд после выхода центрующего утолщения наносит удары по поверхности канала;

— дульная часть ствола имеет тонкие стенки, поэтому здесь происходит значительный нагрев металла по всей толщине и механические свойства его падают.

Кроме того, дульная часть ствола должна быть достаточно прочной, чтобы выдерживать случайные удары на походе и противостоять действию осколков и пуль при обстреле противником.

О запасе прочности для минометных стволов. При расчете минометных стволов необходимо учитывать сравнительно малую толщину стенок стволов, большую скорострельность, сопровождаемую значительным нагревом металла ствола (до 300°—400° С), и применение в производстве малолегированных сталей. Отсюда следует, что для минометных стволов запас прочности должен быть увеличен. Желательно, чтобы величина η для всего ствола миномета была не менее 2,0, а для дульной части не менее 3,0.

§ 3. ЗАВИСИМОСТЬ ПРЕДЕЛА УПРУГОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ СТВОЛА-МОНОБЛОКА ОТ ТОЛЩИНЫ СТЕНОК СТВОЛА

Относительная толщина стенок ствола определяется отношением наружного радиуса к внутреннему: $\frac{r_2}{r_1} = a_1$.

При ничтожно малой толщине стенок трубы a_1 будет иметь наименьшее значение: $a_1 \approx 1$.

Предельно большое отношение $\frac{r_2}{r_1}$ равно (теоретически) бесконечности:

$$(a_1)_{max} = \infty.$$

Рассмотрим зависимость отношения $\frac{P_1}{\sigma_e}$ от величины a_1 для ряда значений a_1, для чего воспользуемся формулой предела упругого сопротивления моноблока

$$\frac{P_1}{\sigma_e} = \frac{3}{2} \cdot \frac{a_1^2 - 1}{2a_1^2 + 1}.$$

Вычисленные по этой формуле величины $\frac{P_1}{\sigma_e}$ приведены ниже в таблице.

$a_1 = \frac{r_2}{r_1}$	1	1,2	1,5	2,0	2,2	2,5	2,8	3	5	50	100	∞
$\frac{P_1}{\sigma_e}$	0	0,17	0,34	0,50	0,54	0,58	0,61	0,63	0,70	0,748	0,749	0,75

Из таблицы видно, что увеличение отношения $\frac{P_1}{\sigma_e}$ не прямо пропорционально увеличению толщины стенок трубы: по мере роста толщины стенок нарастание отношения $\frac{P_1}{\sigma_e}$ становится все меньше и меньше.

Если величина a_1 приобретает значения более 3, то прирост отношения $\frac{P_1}{\sigma_e}$ становится весьма малым. Это свидетельствует о том, что нельзя значительно повысить предел упругого сопротивления моноблока за счет значительного увеличения толщины стенок ствола.

На практике обычно и берут такую величину a_1, значение которой не превышает 3.

В тех случаях, когда увеличить предел упругого сопротивления (P_1) за счет увеличения толщины стенок нельзя, увеличивают предел упругости металла (σ_e).

Другой метод увеличения $\frac{P_1}{\sigma_e}$, кроме увеличения толщины трубы, заключается в применении скрепленных или самоскрепленных стволов.

§ 4. ПОРЯДОК ПРОВЕРОЧНОГО РАСЧЕТА СТВОЛА-МОНОБЛОКА

Наиболее распространенными схемами расчета ствола являются:

а) проверочный расчет прочности для известных размеров ствола и качества металла;

б) расчет ствола при его проектировании.

Так как стволы представляют собою сложные фигуры с неодинаковыми размерами в различных поперечных сечениях, расчет приходится вести для нескольких характерных сечений.

Наиболее характерными поперечными сечениями ствола, для которых обязательно следует производить расчет, являются:

а) сечение по дну канала ствола (место наибольшего внутреннего диаметра);

б) сечение по наибольшей толщине ствола в нарезной его части (область P_{max});

в) сечение по дульному срезу;

г) сечения, в которых имеются уступы (справа и слева от данного сечения различные наружные диаметры).

В обеих типичных схемах расчета важнейшим исходным документом является кривая баллистических давлений газов в канале ствола, как функция пути снаряда по каналу ствола.

При пользовании кривой баллистических давлений газов необходимо иметь в виду, что для всего участка ствола от дна каморы до места P_{max} наибольшим давлением является P_{max}.

Поэтому кривая баллистических давлений, действующих на ствол во время выстрела, должна иметь прямолинейный участок, параллельный оси канала от дна канала до сечения P_{max}.

Проверочный расчет прочности ствола производится в следующем порядке:

1. С помощью чертежа ствола намечают поперечные расчетные сечения и определяют внутренние и наружные диаметры ствола в выбранных сечениях, а также предел упругости металла ствола, т. е. σ_e.

2. Пользуясь рабочей формулой предела упругого сопротивления ствола, вычисляют P_1 для всех выбранных сечений:

$$P_1 = \frac{3}{2}\sigma_e \frac{r_2^2 - r_1^2}{2r_2^2 + r_1^2}.$$

3. На отдельном листе (лучше всего на миллиметровой бумаге) в произвольном (желательно крупном) масштабе вычерчивают ствол (рис. 31) и над ним кривую баллистических давлений ($АБВГ$), а также кривую действительного упругого сопротивления ($А'Б'В'Г'$).

Кривая баллистических давлений вычерчивается на основании решения задачи внутренней баллистики.

Кривая действительного упругого сопротивления ствола строится по ряду значений P_1, вычисленных по формуле предела упругого сопротивления (см. пункт 2). Для построения

кривой действительного упругого сопротивления откладывают вычисленные значения P_1 для выбранных сечений и затем проводят прямые линии, соединяющие полученные точки P_1.

4. Вычисляют значения коэффициента запаса прочности для выбранных ранее расчетных сечений по формуле

$$\eta = \frac{P_1}{P_б},$$

при этом значение баллистического давления $P_б$ берут по вычерченной кривой баллистических давлений.

5. Для показа соответствия действительной прочности требуемому запасу прочности строят еще кривую желаемого проч-

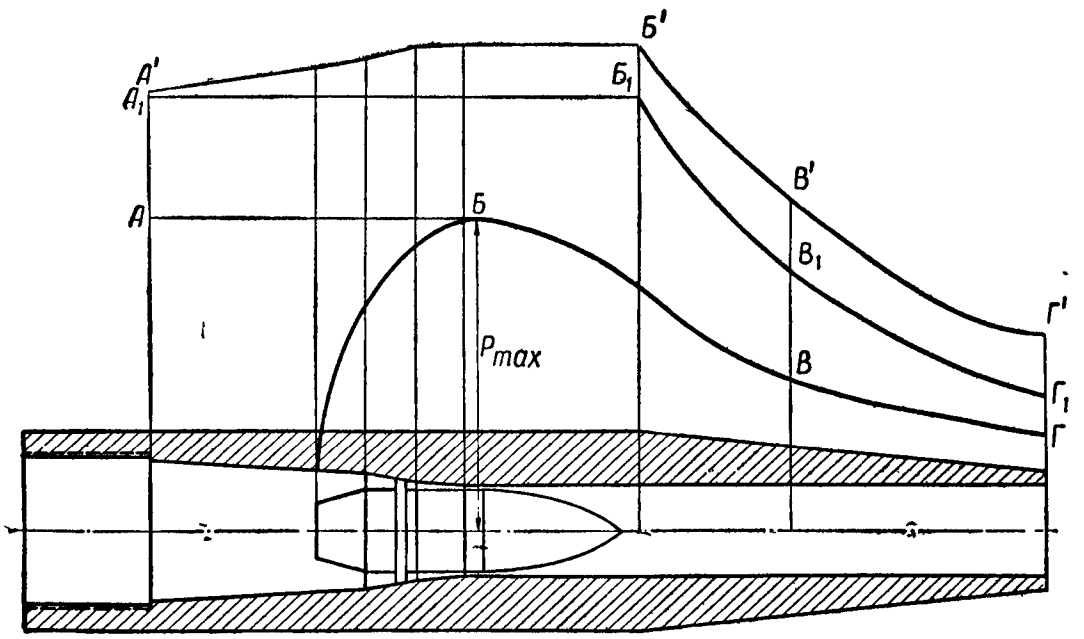


Рис. 31. Схема для проверочного расчета ствола-моноблока

ного сопротивления ($А_1Б_1В_1Г_1$); величины давления для нее равняются баллистическим давлениям, умноженным на коэффициент запаса прочности ($\eta = 1{,}35 \div 1{,}5$).

При вычислении η берут $P_б = P_{max}$ на всем участке ствола от дна каморы до сечения P_{max} и еще далее от P_{max} к дульному срезу на 2—3 калибра. Этим учитывается возможность смещения места P_{max} в процессе стрельбы, так как действительные условия во время стрельбы могут значительно отличаться от расчетных.

ГЛАВА III

СКРЕПЛЕННЫЕ СТВОЛЫ

§ 1. ТРИ РОДА ДАВЛЕНИЙ, НАПРЯЖЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ В СКРЕПЛЕННЫХ СТВОЛАХ

(понятия)

Давления между слоями, напряжения и деформации в металле слоев скрепленного ствола, возникшие в результате процесса скрепления, называются произведенными скреплением или произведенными (рис. 32). Давления,

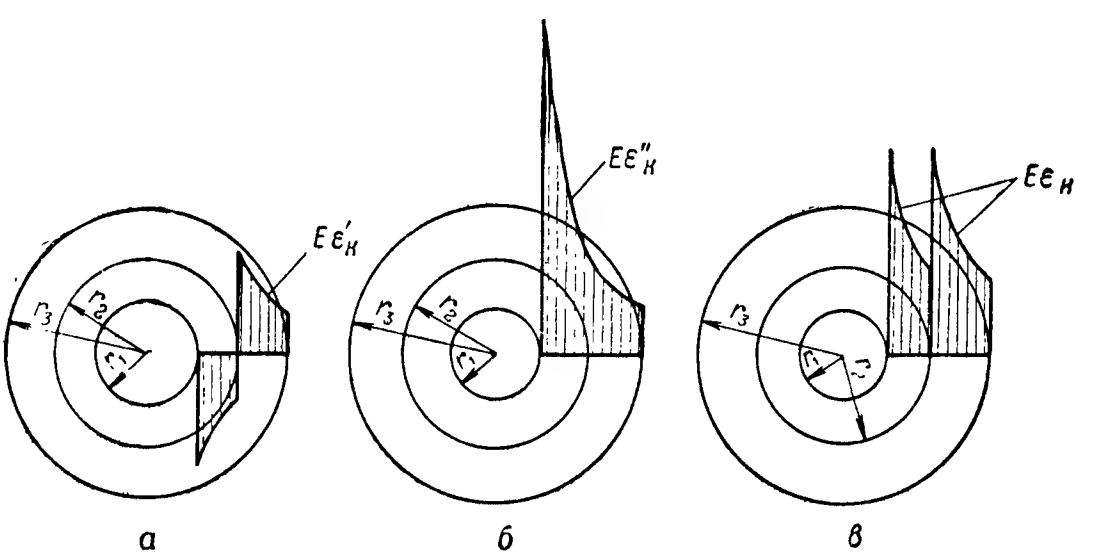


Рис. 32. Диаграммы приведенных тангенциальных напряжений в трубе и кожухе двухслойного скрепленного ствола:
а — до выстрела (произведенные скреплением); *б* — от действия газов (дополнительные); *в* — действительные

напряжения и деформации в скрепленном стволе, возникающие от действия внутреннего давления газов, без учета произведенных величин, называются дополнительными.

Давления, напряжения и деформации, являющиеся результатом сложения произведенных и дополнительных величин и

отображающие полностью действительное состояние металла скрепленного ствола во время выстрела, называются действительными.

Обозначение различных величин

Произведенные скреплением величины обозначаются одним штрихом вверху. Например: P_2' — произведенное давление между трубой и кожухом; $E\varepsilon'_{k,1}$ — произведенное приведенное тангенциальное напряжение на внутренней поверхности трубы.

Дополнительные величины обозначаются двумя штрихами вверху. Например: P_2'' — дополнительное давление между трубой и кожухом; $E\varepsilon''_{k,1}$ — дополнительное приведенное тангенциальное напряжение на внутренней поверхности трубы.

Действительные величины пишутся без каких-либо условных дополнительных значков. Например: P_2 — действительное давление между трубой и кожухом (для двухслойного ствола); $E\varepsilon_{k,1}$ — действительное приведенное тангенциальное напряжение на внутренней поверхности трубы.

Иногда слово «действительное» опускается для сокращения наименования.

Основная связь между произведенными, дополнительными и действительными величинами

Из приведенных выше определений следует, что действительные величины (давления, напряжения, деформации) равны алгебраической сумме соответствующих произведенных и дополнительных величин. Например,

$$P_2 = P_2' + P_2''; \quad E\varepsilon_{k,1} = E\varepsilon'_{k_1,1} + E\varepsilon''_{k,1}.$$

Эти выражения будут справедливы в тех случаях, когда отсутствуют остаточные пластические деформации в стволе от скрепления и от суммарного действия скрепления и газов.

Наличие такой простой зависимости весьма упрощает все исследования и расчеты скрепленных стволов.

§ 2. О НАТЯЖЕНИИ ПРИ СКРЕПЛЕНИИ ТРУБЫ С КОЖУХОМ И О ТЕХНОЛОГИИ СБОРКИ С НАТЯЖЕНИЕМ

Чтобы создать произведенные давления при скреплении трубы с кожухом, последний надевается на трубу с натяжением. Для этого внутренний диаметр кожуха до нагрева перед сборкой должен быть меньше наружного диаметра трубы (рис. 33).

Разность этих диаметров (диаметров поверхностей сопряжения) называется абсолютным натяжением и обозначается через q_2:

$$q_2 = \overline{2r}_{1,\,н} - \overline{2r}_2,$$

где $\overline{2r}_{1,\,н}$ — наружный диаметр трубы до сборки;

$\overline{2r}_2$ — внутренний диаметр кожуха до нагрева перед сборкой.

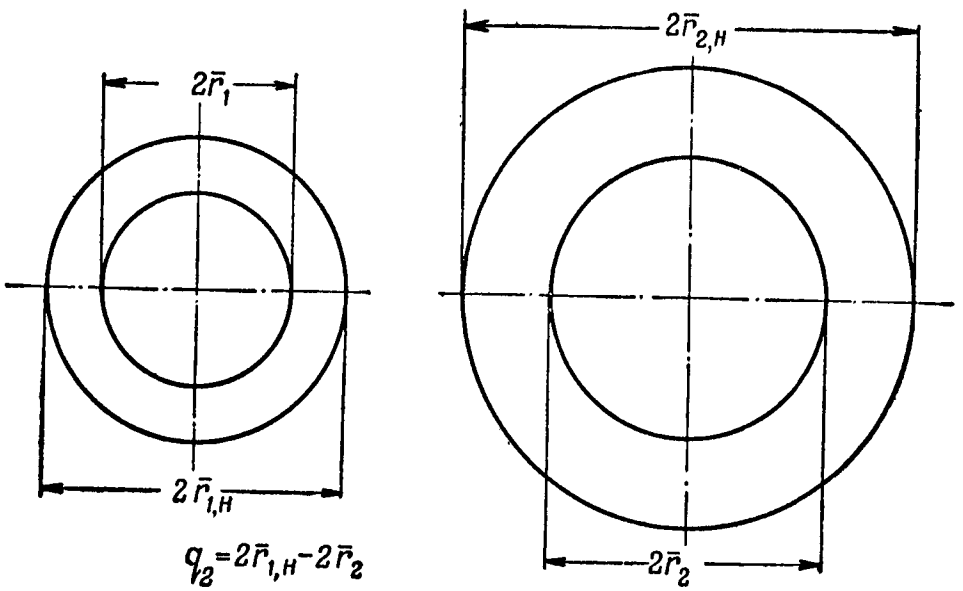


Рис. 33. Абсолютное натяжение. Схема размеров трубы и кожуха до скрепления перед нагревом кожуха

Обмер диаметров производится при температуре +20° С.

Отношение абсолютного натяжения (q_2) к общему диаметру поверхностей сопряжения ($2r_2$) называется относительным натяжением и обозначается через γ_2:

$$\gamma_2 = \frac{q_2}{2r_2}.$$

Чтобы было удобнее различать размеры диаметров до сборки и после сборки, а также отличать поверхности трубы и кожуха в месте соприкосновения, для скрепленных стволов принимают следующие дополнительные обозначения (рис. 34).

Наружному радиусу трубы дается номер 1, н (наружный первого слоя), и поэтому пишут $r_{1,\,н}$.

Радиус внутренней поверхности кожуха имеет номер 2, и поэтому для кожуха пишут r_2.

Размеры радиусов до нагрева перед сборкой обозначаются чертой сверху над буквой r, т. е. $\overline{r}$. После сборки размеры обозначаются без черты сверху: $r_{1,\,н} = r_2$.

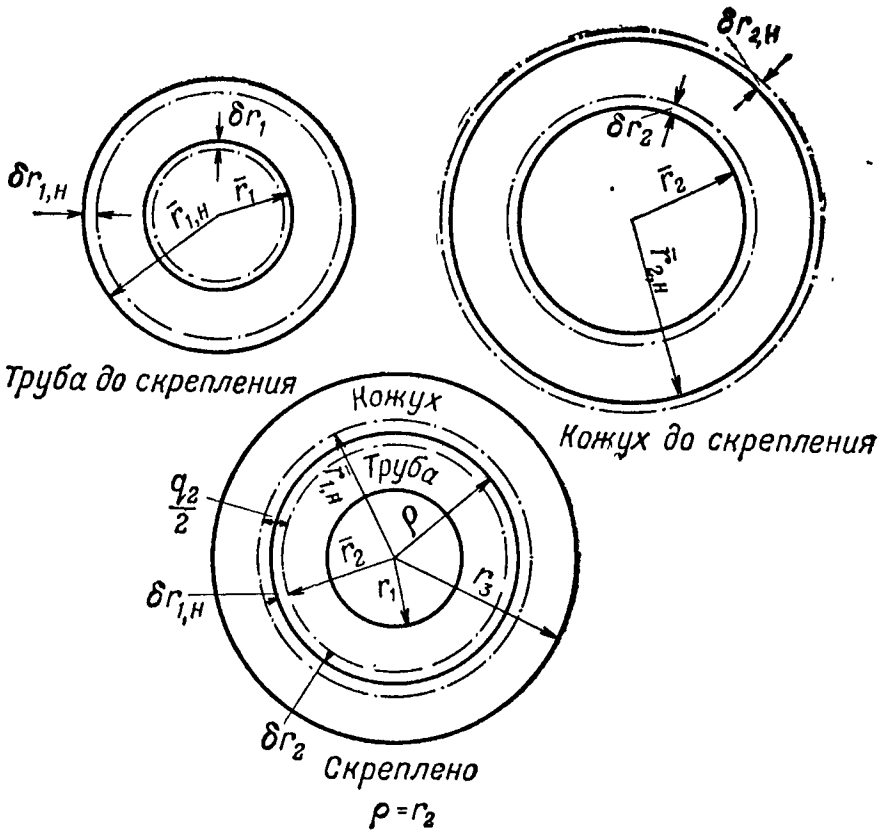


Рис. 34. Схема связи между натяжением и произведенными скреплением тангенциальными деформациями трубы и кожуха. На отдельных сечениях трубы и кожуха пунктиром показаны их размеры после скрепления, а на общем сечении пунктиром показаны размеры поверхностей скрепления перед скреплением

Абсолютное натяжение q_2 выражают в миллиметрах. Среднее значение q_2 для полевых орудий — от 0,1 до 0,3 *мм* (в зависимости от калибра; для бо́льших калибров q_2 больше).

Относительное натяжение γ_2 — отвлеченное число. Наибольшее значение γ_2, принимаемое на практике при условии, что кожух будет нагрет до температуры не выше 450° С, должно быть не более 0,002:

$$\gamma_{2,\,max} \leq 0{,}002.$$

Если $\gamma_2 > 0{,}002$ (что возможно при нагреве кожуха до температуры более 450°), труба будет сильно сжата до выстрела и живучесть ее понизится.

О допускаемой величине относительного натяжения (γ_2) из соображения легкости сборки

Температурный коэффициент линейного расширения артиллерийских сталей на всем диапазоне нагрева для скрепления может быть принят в среднем равным $\alpha_t = 12 \cdot 10^{-6}$.

Наибольшая разность температур кожуха и трубы перед скреплением (без нарушений механических свойств кожуха) может быть принята равной 400° С:

$$\Delta T = T \text{ кожуха} - T \text{ трубы} = 450° - 50° = 400° \text{ С}.$$

Наибольшее относительное увеличение диаметра кожуха при нагреве его на 400° С равно

$$\frac{\Delta d_к}{d_к} = \varepsilon_{к,\,t} = \alpha_t \cdot \Delta T = 12 \cdot 10^{-6} \cdot 400 = 4{,}8 \cdot 10^{-3}.$$

Для того чтобы надеть кожух на трубу, необходимо обеспечить гарантированный зазор между трубой и кожухом, позволяющий произвести сборку деталей (трубы и кожуха), учитывая искривление их осей и эллиптичность сечений поверхности скрепления.

Практически установлено, что правильная сборка скрепления возможна, если натяжение не превосходит 40—50% от всего температурного расширения кожуха, т. е. при условии, что

$$\gamma_{2,\,max} \leq (0{,}4 \div 0{,}5)\,\varepsilon_{к2,\,t} = (0{,}4 \div 0{,}5) \cdot 4{,}8 \cdot 10^{-3} \approx 0{,}002.$$

При вычислении γ_2 допустимо считать

$$\gamma_2 = \frac{q_2}{2r_2} \approx \frac{q_2}{2\bar{r}_{1,\,н}} \approx \frac{q_2}{2\bar{r}_2}.$$

Кожух в нагретом состоянии свободно надевается на трубу обычно с дульной части при вертикальном положении трубы. При охлаждении кожух не может вернуться к своим первоначальным размерам из-за сопротивления трубы, которая в свою очередь получает новые размеры под действием кожуха (см. рис. 34).

Сборка с натяжением становится возможной благодаря упругим деформациям, возникающим в процессе сборки при охлаждении кожуха. Радиус трубы уменьшается на $\delta r_{1,\,н}$; радиус кожуха увеличивается на δr_2.

Численно относительное натяжение равно сумме абсолютных величин тангенциальных произведенных скреплением относительных деформаций поверхностей сопряжения:

$$\gamma_2 = \frac{q_2}{2r_2} = \left|\frac{\delta r_{1,\,н}}{r_{1,\,н}}\right| + \left|\frac{\delta r_2}{r_2}\right| = |\varepsilon'_{к,\,1,\,н}| + |\varepsilon'_{к,\,2}|.$$

Представление о величинах абсолютного натяжения дает следующая таблица, в которой приведены данные для различных диаметров скрепляемых поверхностей при $\gamma_2 = 0{,}002$.

Диаметр поверхности скрепления (*мм*)	100	200	300	400	500
Наибольшее значение абсолютного натяжения q_2 (*мм*)	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0

Из таблицы видно, насколько малы абсолютные натяжения. Очевидно, что точное создание натяжений с учетом допусков на обработку является весьма сложной операцией, для выполнения которой требуются высококвалифицированные рабочие.

§ 3. ПРЕДЕЛ УПРУГОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ДВУХСЛОЙНОГО СКРЕПЛЕННОГО СТВОЛА

Прочность скрепленного ствола зависит не только от качества металла и толщины стенок, но также и от того, насколько действительные размеры поверхностей скрепления трубы и кожуха соответствуют расчетным.

Если сделать натяжение больше расчетного, то при выстреле кожух может оказаться перенапряженным, а если натяжение сделать меньше расчетного, то при выстреле труба окажется перенапряженной. Оба указанные отклонения от расчетных (чертежных) величин приводят к одному результату — понижению прочности ствола.

Путем расчета можно определить такое натяжение, при котором во время выстрела труба и кожух будут одновременно напряжены до предела упругости их металла.

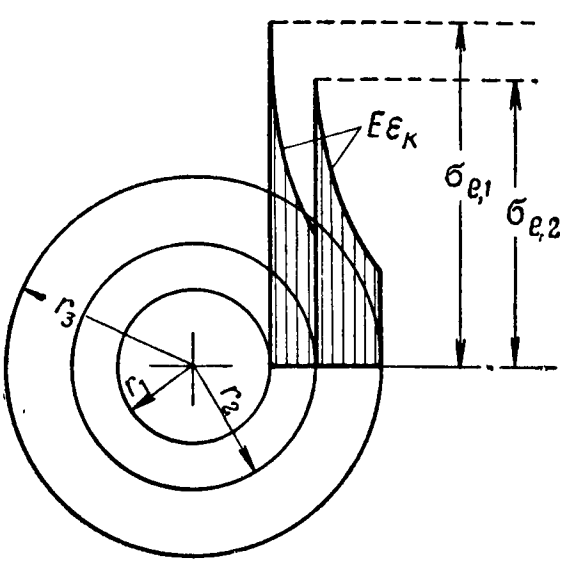


Рис. 35. Диаграмма действительных напряжений в двухслойном скрепленном стволе, соответствующих пределу упругого сопротивления ствола

Давление на внутренней поверхности ствола, при котором труба и кожух будут одновременно напряжены до предела упругости их металла (рис. 35), называется пределом упругого сопротивления скрепленного ствола.

Так как наибольшие напряжения и в трубе и в кожухе всегда бывают на их внутренних поверхностях, то, следовательно, во время действия давления P_1, рав-

ного пределу упругого сопротивления, будет соблюдаться условие

$$E\varepsilon_{к,1} = \sigma_{e,1} \text{ и } E\varepsilon_{к,2} = \sigma_{e,2},$$

где $E\varepsilon_{к,1}$, $E\varepsilon_{к,2}$ — приведенные тангенциальные напряжения на внутренней поверхности трубы, кожуха;

$\sigma_{e,1}$ — предел упругости металла трубы;

$\sigma_{e,2}$ — предел упругости металла кожуха.

Рабочая формула для предела упругого сопротивления имеет следующий вид:

$$P_1 = \frac{3}{2}\sigma_{e,1}\frac{r_2^2 - r_1^2}{2r_2^2 + r_1^2} + \frac{3}{2}\sigma_{e,2}\frac{3r_2^2}{2r_2^2 + r_1^2} \cdot \frac{r_3^2 - r_2^2}{2r_3^2 + r_2^2}$$

или

$$P_1 = \frac{3}{2}\sigma_{e,1}\frac{a_1^2 - 1}{2a_1^2 + 1} + \frac{3}{2}\sigma_{e,2}\frac{3a_1^2}{2a_1^2 + 1} \cdot \frac{a_2^2 - 1}{2a_2^2 + 1},$$

где

$$a_1 = \frac{r_2}{r_1} \text{ и } a_2 = \frac{r_3}{r_2}.$$

Необходимое натяжение при скреплении для получения сопротивления ствола, равного пределу упругого сопротивления его, определяется по формуле

$$\gamma_2 = \frac{q_2}{2r_2} = \frac{2P_2'}{E} \cdot \frac{(r_3^2 - r_1^2)\, r_2^2}{(r_3^2 - r_2^2)(r_2^2 - r_1^2)},$$

где

$$P_2' = P_2 - P_2'' = \frac{3}{2}\sigma_{e,2}\frac{r_3^2 - r_2^2}{2r_3^2 + r_2^2} - P_1\frac{r_1^2(r_3^2 - r_2^2)}{r_2^2(r_3^2 - r_1^2)}.$$

ГЛАВА IV

СТВОЛЫ СО СВОБОДНЫМИ ЛЕЙНЕРАМИ И СВОБОДНЫМИ ТРУБАМИ

§ 1. ОСНОВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ УСТРОЙСТВА СТВОЛОВ С ЛЕЙНЕРАМИ (СВОБОДНЫМИ ТРУБАМИ)

Наружная поверхность лейнера, а у свободной трубы только участок, покрываемый оболочкой, имеет небольшую конусность порядка 0,002—0,004, что означает уменьшение диаметра на 2—4 *мм* на каждый метр длины (от казны к дулу). Внутренняя поверхность оболочки имеет такую же конусность, как и наружная поверхность лейнера (трубы).

Толщина лейнера должна быть не меньше 0,1—0,2 калибра. Это необходимо для того, чтобы можно было производить надежную термическую обработку лейнера без искривления его формы и механическую его обработку на станках и чтобы при этом лейнер не сильно прогибался под тяжестью собственного веса.

Минимально допустимая толщина стенок лейнера в зависимости от калибра следующая:

Калибр, *мм* . . .	60—75	80—100	105—150	200—300	более 300
Толщина стенок, *см*	1	1,5	2	2,5—3	3—4

Для удержания лейнера (трубы) от смещения вперед при выстреле на казенной части лейнера (трубы) делается кольцевой выступ — бурт (могут быть и другие конструкции крепления).

От смещения назад в конце отката и во время наката лейнер (труба) удерживается казенником, навинчиваемым на оболочку почти до упора в лейнер (трубу). Лейнер может удер-

живаться также гайкой, навинчиваемой на его дульный конец, выступающий из оболочки.

От вращения лейнер (труба) удерживается специальными шпонками, входящими в пазы на бурте лейнера (трубы) и в оболочке.

§ 2. ПРЕДЕЛ ВОЗМОЖНОГО (ИЛИ ПРОЧНОГО) СОПРОТИВЛЕНИЯ СТВОЛА СО СВОБОДНЫМ ЛЕЙНЕРОМ ИЛИ СО СВОБОДНОЙ ТРУБОЙ ПО ТАНГЕНЦИАЛЬНОЙ ДЕФОРМАЦИИ

Пределом возможного (или прочного) сопротивления называется такое внутреннее давление P_1, при котором напряжения внутренней поверхности лейнера или свободной трубы равны пределу упругости металла лейнера или свободной трубы (с учетом данного зазора между лейнером и оболочкой).

При этом подразумевается, что напряжения в оболочке не превосходят предела упругости ее металла (рис. 36).

Рабочая формула для предела возможного сопротивления ствола со свободным лейнером по тангенциальной деформации имеет вид

$$P_1 = \frac{3}{2}\left(\sigma_{e,\,л} - E\eta_2 \frac{r_н^2 - r_2^2}{r_н^2 - r_1^2}\right)\frac{r_н^2 - r_1^2}{2r_н^2 + r_1^2},$$

где η_2 — относительный диаметральный зазор между лейнером и оболочкой:

$$\eta_2 = \frac{2e}{2r_2};$$

$2e$ — абсолютный диаметральный зазор;

$r_н$ — наружный радиус оболочки;

r_2 — наружный радиус лейнера.

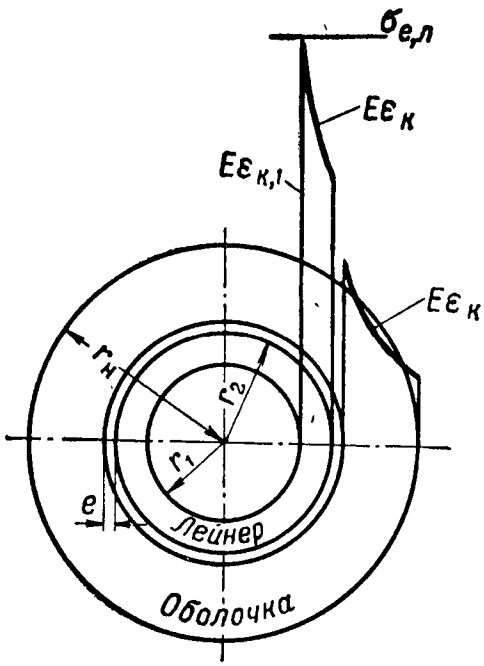


Рис. 36. Диаграмма действительных напряжений в стволе со свободным лейнером, соответствующих пределу возможного сопротивления ствола

Величиной зазора $2e$ задаются, учитывая необходимость обеспечения максимального участия оболочки в сопротивлении действию газов, а также обеспечения условий легкости сборки и разборки ствола.

Весьма важно обеспечить взаимозаменяемость лейнеров в производстве; это же требование относится и к оболочкам.

Практически для полевых систем величину $2e$ берут в пределах от 0,1 до 0,3 *мм*.

Коэффициент запаса прочности ствола с лейнером или со свободной трубой должен быть не менее 1,35 для нарезной части и не менее 1,20 для каморы.

Для обеспечения запаса прочности необходимо соблюдать следующее требование: наибольшее допустимое давление газов должно быть равно пределу возможного сопротивления (P_1), деленному на коэффициент запаса прочности.

ГЛАВА V

САМОСКРЕПЛЕННЫЕ (АВТОФРЕТИРОВАННЫЕ) СТВОЛЫ

§ 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

В 70-х годах прошлого столетия профессор русской артиллерийской академии полковник А. С. Лавров впервые разработал и проверил на опыте теорию создания эффекта скрепления в моноблоке путем искусственно создаваемых остаточных деформаций. Применение метода А. С. Лаврова при производстве бронзовых стволов позволило резко увеличить их прочность и продлить срок их использования. Самоскрепление производилось пропусканием через канал ствола серии пуансонов возрастающего калибра.

Напряжения и деформации в трубе, вызванные одним внутренним давлением, отличаются большой неравномерностью: они оказываются весьма высокими на внутренней поверхности и ничтожными на внешней.

Если создавать внутри трубы давление (гидравлическое или путем продавливания стержня) выше предела упругого сопротивления, то в металле начнут появляться остаточные деформации. При непрерывном увеличении внутреннего давления остаточные деформации будут распространяться по всей толще поперечного сечения трубы. Однако и в этом случае распределение напряжений и деформаций в трубе будет неравномерным.

При снятии внутреннего давления, вызвавшего остаточные деформации, металл трубы будет стремиться в пределах полученных упругих деформаций вернуться к исходному положению, т. е. сжиматься по окружному (тангенциальному) направлению, но остаточные деформации растяжения не позволят трубе полностью вернуться в первоначальное положение. Наружные слои металла будут сжимать внутренние слои металла, но полностью вернуться в свое положение они не смогут и останутся растянутыми.

Живучесть самоскрепленных стволов мало отличается от живучести обычных моноблоков.

Современную теорию самоскрепления стволов разработал профессор Дроздов Н. Ф. Большие экспериментальные исследования в этой области с теоретическими обобщениями проделал профессор Головин А. Ф. Вопросы теории и практики самоскрепления стволов подробно изложены Смирновым-Аляевым Г. А.

§ 2. ПОНЯТИЕ О ТЕХНОЛОГИИ САМОСКРЕПЛЕНИЯ

На практике встречаются два метода технологии самоскрепления: без матриц и в матрицах.

Технология самоскрепления без матриц заключается в обработке трубы одним внутренним давлением, для чего в полость трубы нагнетается жидкость под большим давлением. Для уменьшения объема сжимаемой жидкости внутрь трубы помещается сплошной цилиндр — заполнитель объема (внутренний стержень). Концы канала трубы герметически закрываются специальными пробками с обтюрирующими устройствами.

На рис. 37 изображена принципиальная схема технологии самоскрепления без матриц.

Гидравлическое давление при самоскреплении должно быть больше предела прочного сопротивления готовой самоскреп-

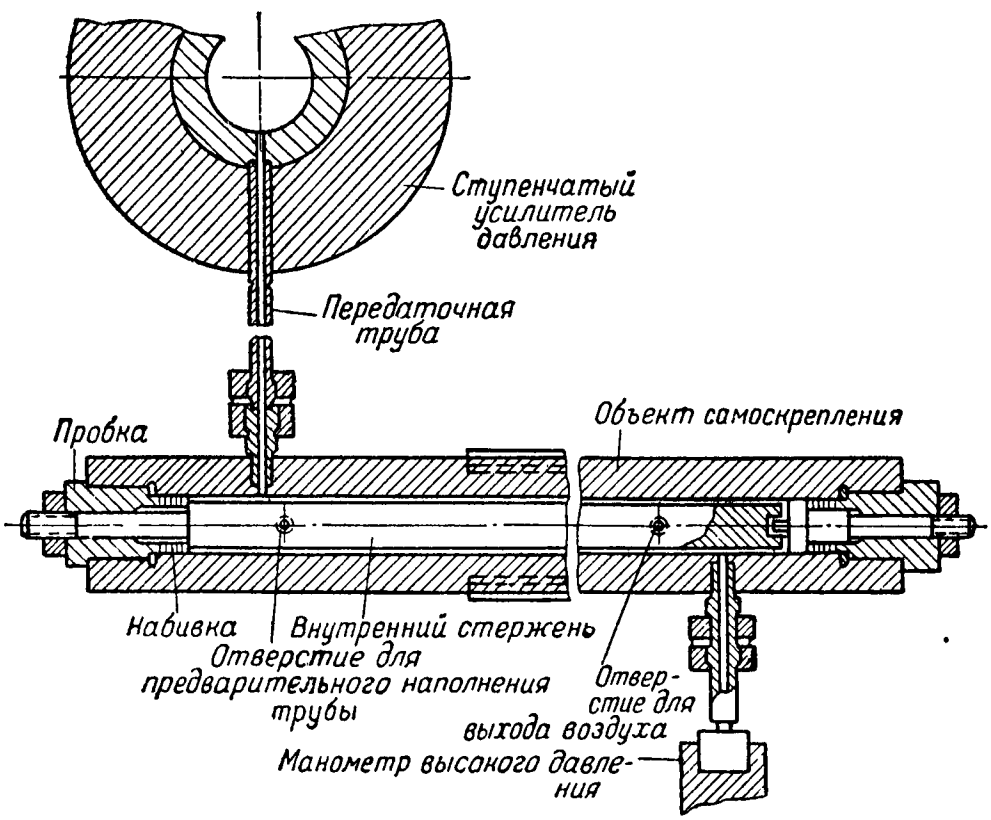


Рис. 37. Принципиальная схема самоскрепления цилиндра без матриц

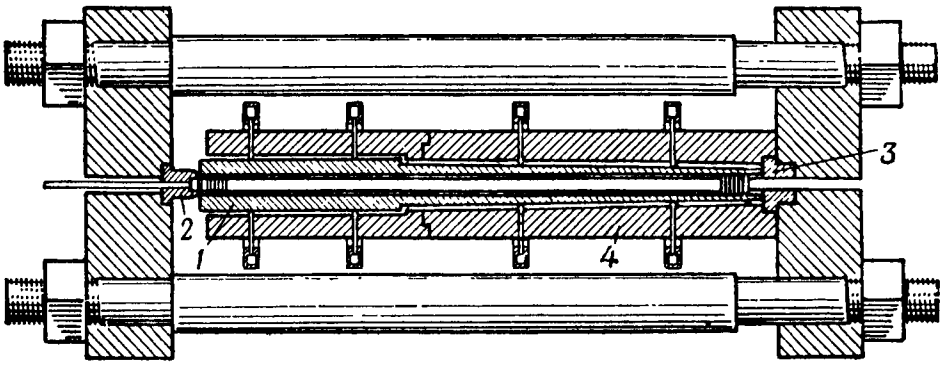


Рис. 38. Схема установки трубы при самоскреплении в матрицах:

1 — самоскрепляемая труба; *2* и *3* — пробки с уплотнениями; *4* — толстостенная оболочка (матрица). В матрице установлены четыре указателя деформаций наружной поверхности трубы *1*

ленной трубы. Измерение давления производится с помощью манометра высоких давлений.

Труба на операцию самоскрепления поступает с припусками на чистовую обработку по наружной и внутренней поверхности и по длине.

Самоскрепляемую трубу устанавливают в особо прочном блиндаже, а всю мерительную и прессовую аппаратуру выводят наружу в другое помещение.

Во избежание несчастных случаев в блиндаже во время процесса самоскрепления не должно быть людей (если произойдет разрушение трубы, то струи жидкости, выбрасываемые из трещин трубы под высоким давлением, могут нанести тяжелые увечья).

Технология самоскрепления с применением матриц заключается в следующем. Трубу помещают в особые толстостенные матрицы, которые препятствуют расширению трубы при действии внутреннего гидравлического давления, тем самым труба подвергается давлению также и снаружи.

На рис. 38 показана схема установки трубы для самоскрепления в матрицах.

При этом способе представляется возможным создавать в трубе весьма большие остаточные деформации (в 4—5 раз больше, чем без матриц) без опасения, что труба резко изменит свои размеры и форму из-за неоднородности металла.

Самоскрепление в матрицах можно рассматривать как своеобразное гидравлическое прессование металла в холодном виде. При этом в силу больших остаточных деформаций по всей толще трубы эффект собственно скрепления (т. е. упругого сжатия внутренних слоев металла и растяжения наружных слоев) ничтожен.

Упрочнение металла при самоскреплении труб в матрицах в основном достигается за счет повышения предела упругости

металла при перенапряжении его сверх предела упругости. Это связано с образованием так называемого наклепа металла.

При самоскреплении без матриц влияние наклепа металла на увеличение прочности мало; в этом случае главную роль играют напряжения самоскрепления.

§ 3. ПОНЯТИЕ О НАКЛЕПЕ МЕТАЛЛА ПРИ САМОСКРЕПЛЕНИИ

В процессе самоскрепления напряжения во внутренних слоях трубы (а часто и во всем металле) значительно превосходят предел текучести. Если это явление, наблюдаемое во внутренних слоях самоскрепляемой трубы, вызвать в металлическом бруске путем растяжения его нагрузкой, создающей напряжение σ_x выше предела упругости σ_e, но ниже временного сопротивления, то при снятии этой нагрузки обнаружится следующее (рис. 39).

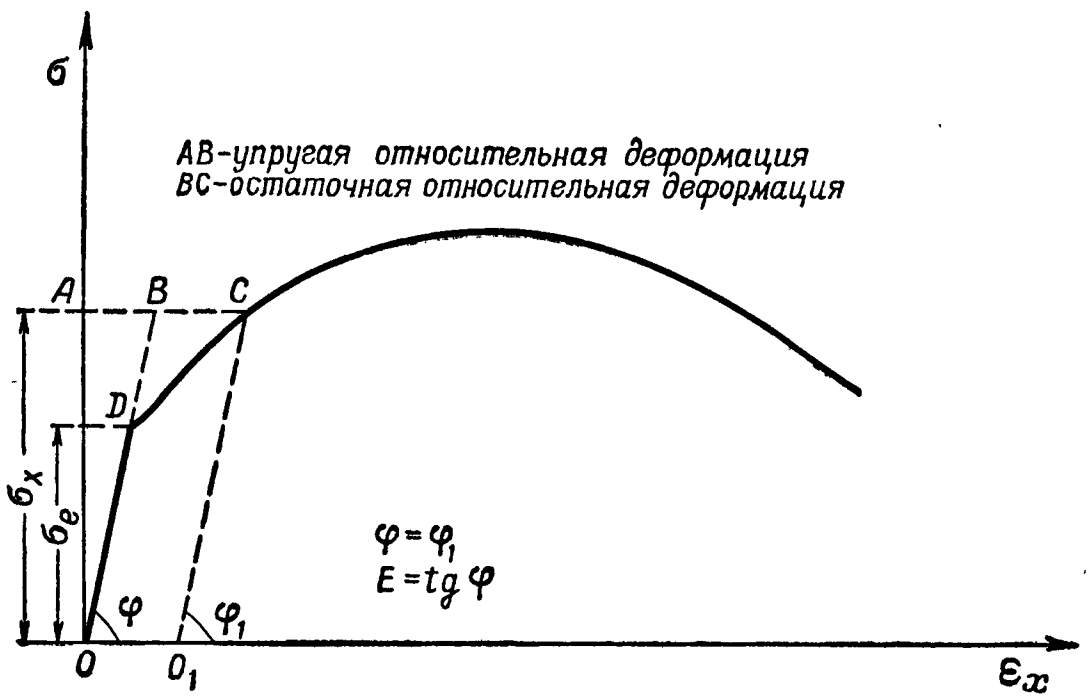


Рис. 39. Схема, поясняющая сущность наклепа металла

При спаде нагрузки перо специального прибора, записывающее зависимость между напряжением и деформацией, пойдет вниз не по тому пути (ODC), по которому оно шло при увеличении нагрузки, а по новой прямой CO_1, имеющей такой же наклон к горизонтальной оси, какой имеет основная кривая на своем начальном участке до предела упругости.

При полном спаде нагрузки перо не приходит в начальную точку до нагрузки. Удаление точки при разгрузке от на-

чального положения пера до деформации показывает остаточную деформацию бруска. Уменьшение деформации при спаде нагрузки до нуля показывает упругую деформацию. Сумма упругой и остаточной деформаций равна полной истинной деформации бруска.

При повторной нагрузке бруска, получившего при предварительной нагрузке остаточную деформацию, запись пера будет выражать зависимость между напряжением и деформацией, при этом перо будет идти по той же (приближенно) прямой, по которой оно шло вниз при разгрузке. Это будет наблюдаться до тех пор, пока повторная нагрузка не превзойдет нагрузку предварительного растяжения.

Итак, если брусок выдержит нагрузку, вызвавшую остаточные деформации, при условии, что напряжение значительно ниже временного сопротивления, то он будет способным повторно выдерживать ту же нагрузку без появления новых остаточных деформаций. Таким образом, перегрузка вызывает повышение предела упругости металла.

Описанный эффект повышения предела упругости металла методом перегрузки металла напряжениями, превосходящими предел текучести, называется наклепом или упрочнением металла.

Во всех случаях самоскрепления имеет место наклеп металла — незначительный при самоскреплении без матриц и значительный при самоскреплении в матрицах. Остаточная относительная деформация на внутренней поверхности трубы при технологии без матриц доходит до 0,015—0,02, а при технологии с матрицами — до 0,07—0,10.

§ 4. ДИАГРАММА НАПРЯЖЕНИЙ В САМОСКРЕПЛЕННОЙ ТРУБЕ

До выстрела распределение тангенциальных напряжений характеризуется плавным переходом от сжатия во внутренних слоях к растяжению в наружных слоях трубы (рис. 40). При выстреле ввиду отсутствия новых остаточных деформаций

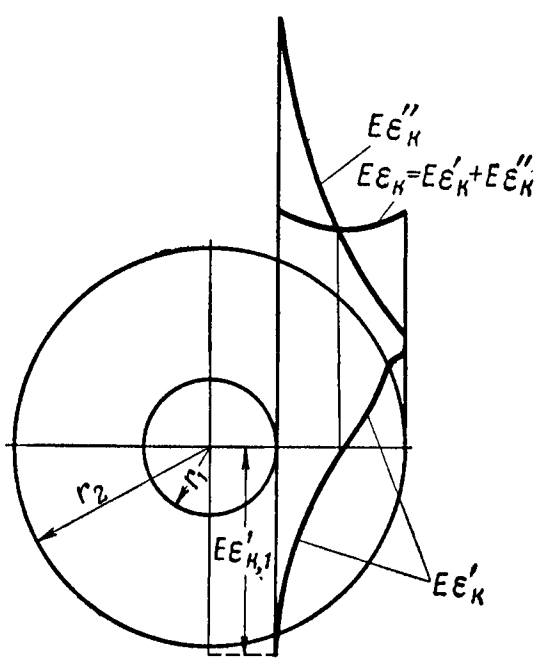


Рис. 40. Схема напряжений в самоскрепленном моноблоке:

$E\varepsilon'_к$ — произведенные самоскреплением;

$E\varepsilon''_к$ — дополнительные, от действия газов;

$E\varepsilon_к$ — действительные — алгебраическая сумма напряжений от самоскрепления и от действия газов во время выстрела

(так должно быть при нормальных условиях работы материала трубы) дополнительные деформации имеют такой же вид, как и в простом моноблоке.

Действительные напряжения в самоскрепленном моноблоке характеризуются наибольшим приближением среднего напряжения во всем сечении к наибольшему напряжению в данном сечении.

Для приближенного определения предела прочного сопротивления самоскрепленного ствола можно пользоваться формулой (расчет по касательным напряжениям)

$$P_1 = 2{,}3\sigma_e \lg \frac{r_2}{r_1}.$$

При расчете допустимого баллистического давления $\left(P_б = \frac{P_1}{\eta}\right)$ коэффициент запаса прочности (η) должен быть не менее 1,2.

Пример. Дана труба размерами $r_1 = 10$ *см*; $r_2 = 25$ *см*. Предел упругости металла трубы до самоскрепления $\sigma_e = 5000$ *кг/см*^{2}. Определить предел прочного сопротивления P_1 и допустимое баллистическое давление $P_б$ при коэффициенте запаса прочности $\eta = 1{,}2$.

Решение.

$$P_1 = 2{,}3 \cdot 5000 \lg \frac{25}{10} = 2{,}3 \cdot 5000 \cdot 0{,}3979 \approx 4600 \text{ кг/см}^2,$$

$$P_б = \frac{4600}{\eta} = \frac{4600}{1{,}2} = 3833 \text{ кг/см}^2.$$

Примечание. Многослойные сварные стальные стволы русских пищалей XV в. с постепенным наращиванием толщины стенок следует рассматривать как образец использования одновременно и многослойности и эффекта самоскрепления в производстве с большим наклепом металла.

ГЛАВА VI

УСТРОЙСТВО НАРЕЗНОЙ ЧАСТИ КАНАЛА СТВОЛА И КАМОРЫ ОРУДИЯ

§ 1. ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Внутренняя часть ствола по длине делится на два участка — затворную часть и канал ствола.

Затворной частью называется часть ствола, в которой помещается затвор. Длиной затворной части называется расстояние от казенного среза казенника до дна канала ствола.

Казенным срезом казенника называется плоскость, перпендикулярная оси канала ствола и проходящая через крайнюю заднюю точку казенника (без учета дополнительных механизмов, прикрепляемых к казеннику).

Дном канала ствола без учета гильзы называется плоскость, перпендикулярная оси канала ствола и проходящая через переднюю поверхность клина или поршня затвора (грибовидного стержня в затворах с пластическим обтюратором).

Дном канала ствола с учетом гильзы или дном каморы называется плоскость, перпендикулярная оси канала ствола и проходящая через внутреннюю поверхность дна гильзы (без учета закруглений и выступов под капсюльную втулку).

Длиной канала ствола называется расстояние от дна каморы до плоскости дульного среза без учета дульного тормоза.

Плоскостью дульного среза без учета дульного тормоза называется плоскость, перпендикулярная оси канала ствола и проходящая через переднюю поверхность трубы ствола.

Каналом ствола называется внутренний объем свободного пространства ствола от дна каморы до дульного среза трубы ствола.

Каморой орудийного ствола называется заснарядная часть канала ствола от дна канала до дна снаряда при заряженном положении орудия. В объем каморы входит объем заряда и свободный объем канала в области запоясковой части снаряда.

Канал ствола делится на две части — гладкую (от дна каморы до начала нарезов) и нарезную часть (от начала нарезов до плоскости дульного среза).

Примечание. В каналах стволов особой конструкции могут быть две гладкие части: одна в области каморы, а другая в дульной части. Гладкая часть канала в дульной части ствола имеется в некоторых орудиях с коническими и цилиндро-коническими каналами, а также в орудиях со стволом большой длины. В последнем случае нет необходимости иметь нарезы по всей длине ствола, так как вращательное движение, сообщаемое снаряду только на некоторой части его пути в канале, вполне достаточно для обеспечения его устойчивости на полете.

§ 2. УСТРОЙСТВО НАРЕЗНОЙ ЧАСТИ КАНАЛА СТВОЛА

Нарезами (рис. 41) называются углубления на внутренней поверхности ствола, служащие для сообщения снаряду вращения вокруг его оси.

Полями называются выступы между нарезами.

Калибром орудия d называется диаметр канала, измеренный по противоположным полям в местах полного профиля полей.

Для конических и цилиндро-конических каналов следует различать два калибра — входной в начале нарезной части канала и выходной в дульном срезе (для обоих мест по полному профилю полей).

Диаметром канала по нарезам $d_н$ называется диаметр по доньям нарезов.

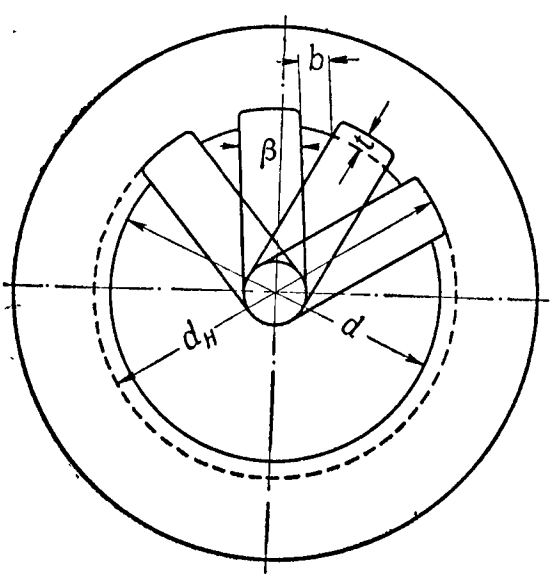


Рис. 41. Поперечное сечение ствола в области нарезов полного профиля

Гранями нарезов называются боковые поверхности полей. Грани одного нареза параллельны между собой.

Глубиной нареза t называется полуразность диаметров по нарезам и по полям.

$$t = \frac{d_н - d}{2}.$$

Обычно $t \approx 0{,}01\ d$.

У орудий с большой начальной скоростью нарезы делают с большей глубиной для сохранения живучести ствола ($t \approx 0{,}015\ d$).

Шириной нареза β называется расстояние по прямой (в плоскости сечения, перпендикулярного оси канала) между гранями, ограничивающими один нарез.

Шириной поля b называется расстояние по прямой между соседними гранями, ограничивающими одно поле нарезной части, измеренное в плоскости, перпендикулярной оси канала.

Число нарезов n берется на основании расчета на прочность полей ствола и выступов ведущего пояска снаряда во время выстрела.

В нашей артиллерии (для облегчения процесса производства) принимают число нарезов кратным четырем; в нарезательной головке число резцов берется кратным четырем.

Ориентировочное число нарезов (с округлением до числа, кратного четырем) определяется по формулам (для медного пояска)

$$n = 3d \text{ и } n = 4k,$$

где d — калибр в сантиметрах, а k — целое число.

Число нарезов зависит также от ширины ведущего пояска и металла пояска.

Пример. Дано: $d = 200$ *мм*. Определить число нарезов и глубину их. Решение. $n = 3 \cdot 20 = 60$. По соображениям удобства производства принимаем $n = 4k = 64$; глубина нарезов $t = 0{,}01d = 2$ *мм*.

Связь между шириной нареза и поля

Ввиду того, что ширина выступов, образующихся на ведущем пояске снаряда, зависит от ширины нарезов, а механические свойства металла ведущего пояска ниже механических свойств орудийной стали, нарезы обычно делают шириной, превосходящей ширину полей в 2—3 раза:

$$\beta = (2 \div 3)\, b.$$

Для железных ведущих поясков допустимо принимать

$$\beta = (1 \div 1{,}5)\, b.$$

Приняв число нарезов n, находят сначала сумму ширины поля и ширины нареза по формуле

$$(b + \beta) = \frac{\pi d}{n}.$$

Затем, приняв определенное отношение $\frac{\beta}{b} = k$, устанавливают ширину поля и нареза:

$$b = \frac{b + \beta}{k + 1}; \quad \beta = kb.$$

В нашей современной нарезной артиллерии форма нарезов (в поперечном сечении канала) делается одинаковой для всех типов и калибров орудий, а именно: грани нареза параллельны между собой и, кроме того, параллельны радиусу, проходящему через середину нареза (см. рис. 41).

Дно нареза делается по дуге окружности, диаметр которой равен сумме калибра и удвоенной глубины нареза.

Пример. Дано: $d = 200$ *мм*; $n = 64$; $\beta : b = 2 = k$.

Определить: b и β.

$$\text{Решение: 1) } b = \frac{\pi d}{n(k+1)} = \frac{3{,}14 \cdot 200}{64 \cdot 3} = 1{,}04\pi \text{ мм};$$

2) $\beta = 2b = 2{,}08\pi$ *мм*. Следовательно, $b = 3{,}28$ *мм*; $\beta = 6{,}56$ *мм*.

Места перехода от дна к граням делаются с закруглениями. Это значительно способствует повышению живучести полей, так как при таком устройстве нарезов напряжения в металле полей, возникающие во время выстрела у их оснований, будут меньше.

Грань поля, непосредственно толкающая снаряд в направлении вращения, называется боевой, а другая грань — холостой. Наибольшее напряжение металл испытывает у основания боевой грани.

Сила реакции ведущего пояска на поле нарезов направлена по перпендикуляру к поверхности боевой грани нареза. Эта сила стремится изогнуть, смять и срезать поля. Для увеличения сопротивления поля изгибу иногда применяют пилообразные нарезы (типа упорной резьбы). Но при этом значительно ослабляются выступы ведущего пояска.

Нарезы бывают или постоянной ширины или суживающимися по направлению к дулу.

Суживающиеся нарезы делают с целью устранения прорыва газов через зазоры, которые при истирании ведущего пояска (по мере движения снаряда) образуются между холостыми гранями нарезов и ведущим пояском. Применение суживающихся нарезов целесообразно, но производство стволов с нарезами такого профиля сложнее, чем с нарезами постоянной ширины.

§ 3. КРУТИЗНА НАРЕЗОВ. ДЛИНА ХОДА НАРЕЗОВ. НАПРАВЛЕНИЕ НАРЕЗОВ

Крутизна нарезов измеряется углом α, заключенным между касательной к кривой нареза в данной точке и образующей цилиндрическую поверхность канала ствола (образующая параллельна оси канала). Общий вид кривых нарезов различного типа показан на рис. 42.

Благодаря нарезам снаряд приобретает определенную скорость вращательного движения, что необходимо для устойчивости его на полете в воздухе.

Во внешней баллистике даются указания о необходимом значении крутизны нарезов для дульного среза $\alpha_д$ (для момента выхода ведущего пояска из ствола). Угол крутизны нарезов в начале нарезов α_0 или равен углу крутизны в дульном срезе, или меньше его.

Нарезы бывают постоянной крутизны, если угол крутизны остается постоянным на всей длине нарезов. На развертке поверхности канала такие нарезы представляют собой прямые линии (*А*).

Нарезы бывают прогрессивной крутизны, если угол крутизны α непрерывно увеличивается от начала нарезов к дульному срезу. На развертке поверхности канала нарезы прогрессивной крутизны представляются в виде кривых линий, все более отклоняющихся от начального направления.

Обычно кривая линия нареза прогрессивной крутизны представляет собой часть ветви кривой — параболы. Практическое значение имеет часть кривой с плавным нарастанием крутизны (*Б*).

Уравнение параболы, по которой строят кривую нареза, имеет общий вид

$$y = px^2,$$

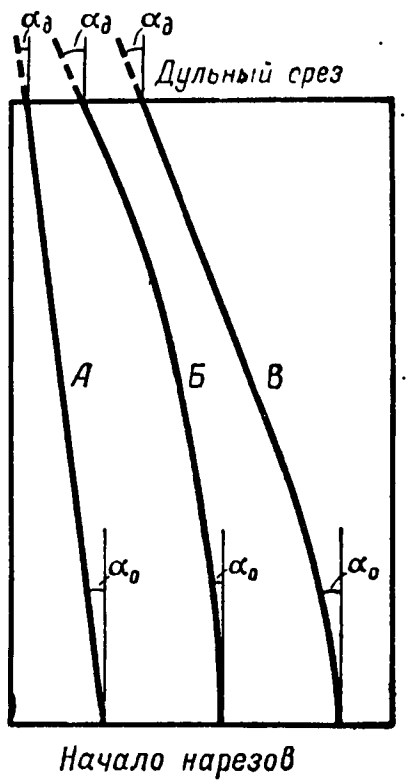


Рис. 42. Схема развертки внутренней поверхности нарезной части ствола:
А — нарез постоянной крутизны; *Б* — нарез прогрессивной крутизны; *В* — нарез прогрессивно-постоянной крутизны

где y — расстояние по окружности на внутренней поверхности ствола в сечении, перпендикулярном оси канала ствола;

x — расстояние вдоль образующей поверхности канала;

p — постоянная величина, характеризующая кривизну параболы.

Величина p зависит от углов α_0 и $\alpha_д$, а также от длины нарезной части канала ствола $L_{нар}$. Для определения величины p пользуются формулой

$$p = \frac{\operatorname{tg}\alpha_д - \operatorname{tg}\alpha_0}{2L_{нар}}.$$

Размерность p — единица, деленная на длину нарезной части (в миллиметрах или метрах).

Ориентировочно можно принять $\alpha_0 = 0{,}5\alpha_д$.

У ряда наших старых гаубиц нарезы на начальном участке выполнены по параболе, а на конечном участке — по прямой, как показано на рис. 42 (линия B). Такие нарезы называются нарезами прогрессивно-постоянной крутизны. Обычно отрезок постоянной крутизны делают в дульной части канала.

Отдельные образцы орудий имеют начальный участок нарезов постоянной крутизны с углами $\alpha = \alpha_0 = 0°$, т. е. на этом участке нарезы представляют собой прямые, параллельные оси канала ствола.

Постоянная характеристика параболы для прогрессивного участка нарезов определяется по формуле

$$p = \frac{\operatorname{tg}\alpha_1 - \operatorname{tg}\alpha_0}{2L_{\text{прогр}}},$$

где α_1 — угол крутизны в месте перехода от нарезов прогрессивной крутизны к нарезам постоянной крутизны, т. е. на стыке кривой линии с прямой ($\alpha_1 = \alpha_д$).

Прогрессивно-постоянная крутизна обеспечивает выполнение в производстве заданного угла крутизны $\alpha_д$ независимо от точности установки ствола орудия по длине относительно копира для вращения нарезательной головки, а также независимо от величины допуска на длину ствола.

Прогрессивная крутизна нарезов делается с целью уменьшения давления на боевые грани полей со стороны ведущего пояска (реакция снаряда). Это давление примерно прямо пропорционально тангенсу угла наклона нареза. Пояснение о силе,

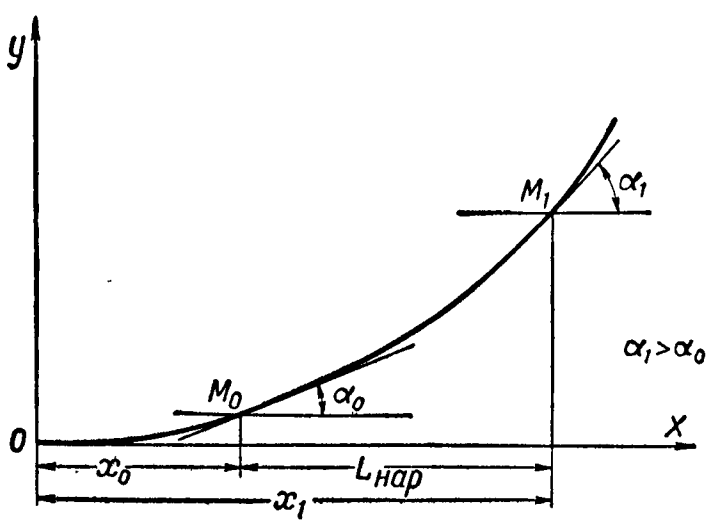


Рис. 48. Построение параболы кривой нарезов прогрессивной крутизны

действующей на боевую грань нареза, дано в § 5 настоящей главы.

Вид одной ветви параболы показан на рис. 43. Отрезок параболы, принимаемый для орудия, ограничен точками M_0 и M_1.

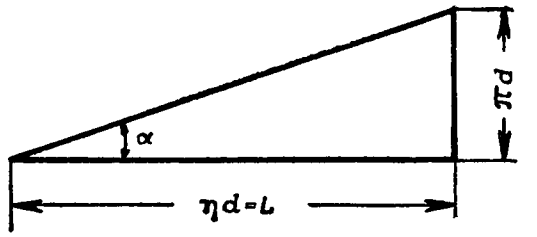


Рис. 44. Зависимость между длиною хода нарезов и крутизной нарезов

Крутизна параболической кривой в каждой точке определяется выражением для тангенса угла крутизны

$$\operatorname{tg}\alpha = 2px,$$

где x — расстояние от вершины параболы.

Расстояние x_0 от вершины параболы до начала нарезов (M_0) определяется выражением

$$x_0 = \frac{\operatorname{tg}\alpha_0}{2p}.$$

Расстояние вдоль оси канала ствола (или по образующей внутренней поверхности ствола), на протяжении которого нарезы при постоянной крутизне делают полный оборот (аналогия с шагом винтовой линии), называется длиной хода нарезов.

Длина хода нарезов ($\eta d = L$) выражается в калибрах (η калибров).

Между длиной хода нарезов и крутизною нарезов существует следующая зависимость (рис. 44):

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{\pi d}{\eta d} = \frac{\pi}{\eta};$$

$$\eta = \frac{\pi}{\operatorname{tg}\alpha},$$

где η — отвлеченное число — отношение длины хода нарезов к калибру (относительная длина хода нарезов).

При нарезах прогрессивной крутизны каждой точке нарезов будет соответствовать свое значение длины хода нарезов.

Длиной хода нарезов прогрессивной крутизны (и любой другой крутизны) в любой точке нарезов называется расстояние вдоль оси канала ствола, на протяжении которого касательная к кривой нареза, проходящая через данную точку, делает полный оборот (касательная лежит в плоскости развертки поверхности канала).

У большинства отечественных пушек длина хода нарезов равна 25 калибрам. Пушки с большой начальной скоростью (v_0) имеют длину хода нарезов, равную 30 калибрам. У гаубиц

и мортир длина хода нарезов меньше, чем у пушек, и доходит до 15 калибров.

Нарезы могут иметь разные направления (правая и левая нарезка).

Во всех наших отечественных орудиях делается правая нарезка, т. е. нарезы вьются от казны к дулу по ходу часовой стрелки.

В некоторых иностранных армиях имеются орудия с левой нарезкой, при которой снаряды вращаются против хода часовой стрелки (если смотреть вперед по направлению стрельбы).

Для кучности и меткости стрельбы безразлично, какое направление имеют нарезы. Это влияет только на направление отклонения снаряда вследствие его вращения, т. е. на деривацию (при правой нарезке снаряды отклоняются вправо, при левой — влево).

§ 4. СИЛА ДАВЛЕНИЯ БОЕВОЙ ГРАНИ НА ВЫСТУП ВЕДУЩЕГО ПОЯСКА

Давление боевой грани на выступ ведущего пояска заставляет снаряд вращаться.

Частицы снаряда во время выстрела движутся по винтовой траектории (вращаются вокруг оси снаряда и одновременно движутся вперед), при этом направление их вращения определяется направлением нарезов.

Если бы все частицы снаряда находились на одинаковом расстоянии от оси снаряда (на наружной поверхности снаряда), то они имели бы одинаковую окружную скорость ($v_{окр}$,) определяемую выражением

$$v_{окр} = \omega r,$$

где ω — угловая скорость вращения снаряда;

r — полукалибр канала ствола (наружный радиус снаряда в цилиндрической его части).

При данном устройстве нарезной части (будем иметь в виду постоянную крутизну нарезов) любая точка снаряда, находящаяся на наружной поверхности цилиндрической части снаряда, при выстреле перемещается одновременно в двух направлениях: параллельно оси канала ствола и по окружности. Будем считать, что если за некоторый промежуток времени частица снаряда переместится по оси канала ствола на величину l, то за тот же промежуток времени она переместится по окружности на величину $l_{окр}$.

Между перемещениями l и $l_{окр}$ существует определенная зависимость:

$$\frac{l_{окр}}{l} = \frac{v_{окр}}{v} = \frac{\pi d}{\eta d} = \operatorname{tg} \alpha.$$

При постоянстве отношения путей и скоростей поступательного и вращательного движения снаряда должно быть и постоянное отношение сил, вызывающих эти движения, т. е.

$$\frac{N_u n}{PS} = \frac{v_{окр}}{v} = \operatorname{tg}\alpha,$$

где N_u — давление одного поля для случая, когда вся масса снаряда расположена на его наружной поверхности с радиусом, равным половине калибра;

n — число полей или нарезов;

P — давление пороховых газов (в $кг/см^2$);

S — площадь поперечного сечения, на которую давят газы.

Так как масса снаряда распределена не только по наружной поверхности снаряда, а по всему его объему, то фактическая сила N будет меньше N_u. Это объясняется тем, что у частиц, расположенных внутри снаряда, скорость окружная меньше, а для меньшего количества движения потребуется и меньшая сила, т. е.

$$N = \beta N_u, \text{ где } \beta < 1.$$

Практически установлено, что для современных снарядов можно считать $N \approx 0{,}6N_u$, и поэтому действительная сила давления на боевой грани будет

$$N \approx 0{,}6N_u = 0{,}6\,\frac{PS}{n}\operatorname{tg}\alpha.$$

Последняя формула справедлива только для постоянной крутизны нарезов.

Пример. Дано: $P = 3000\ кг/см^2$; $S = 0{,}8d^2 = 0{,}8 \cdot 20^2 = 320\ см^2$; $n = 64$; $\operatorname{tg}\alpha = \frac{\pi}{30}$; $\alpha = \text{const}$. Определить величину N.

Решение: $N = 0{,}6\,\frac{PS}{n}\operatorname{tg}\alpha = 0{,}6\,\frac{3000 \cdot 320\pi}{64 \cdot 30} = 300\pi\ кг = 942\ кг.$

При прогрессивной крутизне нарезов сила N для одного и того же значения α будет больше, чем при постоянной крутизне, так как скорость окружная будет прогрессивно нарастать. На начальном участке прогрессивной крутизны нарезы имеют малый угол α, и поэтому сила N будет здесь меньше, чем в орудиях с постоянной крутизной нарезов.

§ 5. ПРОВЕРКА НА ПРОЧНОСТЬ ПОЛЕЙ НАРЕЗНОЙ ЧАСТИ СТВОЛА И ВЕДУЩЕГО ПОЯСКА СНАРЯДА

Поля нарезной части ствола следует рассчитывать одновременно с проверкой на прочность ведущего пояска снаряда, чтобы правильно учесть форму, размеры пояска и свойства его металла.

Поле рассчитывается на срез и изгиб, а выступы ведущего пояска — на смятие, срез и изгиб.

Основными проверками являются проверки на смятие пояска, а также на срез пояска и поля силой N.

Для постоянной крутизны нарезов

$$N = 0{,}6 \frac{PS}{n} \operatorname{tg} \alpha.$$

Для прогрессивной крутизны нарезов приближенно можно принять

$$N = 0{,}7 \frac{PS}{n} \operatorname{tg} \alpha$$

с учетом дополнительного окружного ускорения за счет увеличения значения α.

Проверка на прочность ведущего пояска заключается в проверке его на напряжение среза.

Рабочая формула (без учета истирания ведущего пояска во время движения его по каналу ствола) имеет вид

$$\frac{N}{\beta h} < 2500 \ кг/см^2,$$

где β — ширина нареза в сантиметрах;

h — ширина ведущего пояска в сантиметрах.

Ширина пояска обычно берется не менее 1 *см* и не более 3 *см*. Если требуется бо́льшая ширина, то применяют два пояска.

Пример. Дано: $N = 942$ *кг*; $\beta = 6{,}672$ *мм* $\approx 0{,}66$ *см*. Определить минимально допустимую ширину пояска h.

Решение. $h > \frac{N}{2500 \cdot \beta} = \frac{942}{2500 \cdot 0{,}66} \approx 0{,}6$ *см*.

Вывод: можно допустить $h = 1$ *см*, но окончательно решить вопрос можно после расчета поля (см. ниже).

Проверка поля на прочность заключается в проверке его на срез, при этом должно быть соблюдено следующее условие:

$$\frac{N}{bh} < \frac{\tau_e}{2} = \frac{\sigma_{e,1}}{4},$$

где $\frac{N}{bh} = \tau$ — напряжение скалывания (среза) поля в *кг/см*^{2};

τ_e — предел упругости металла трубы на срез, скалывание;

$\sigma_{e,1}$ — предел упругости металла трубы (или лейнера).

Цифра 4 в знаменателе означает, что $\tau_e = \frac{\sigma_e}{2}$ и коэффициент запаса прочности $\eta = 2$.

Пример. Дано: $N = 942$ *кг*; $b = 0{,}33$ *см*; $h = 1$ *см*; $\sigma_{в,1} = 7000$ *кг/см*^{2}. Определить, достаточна ли прочность поля на срез.

Решение. Так как $\frac{942}{0{,}33 \cdot 1} > \frac{7000}{4}$, то прочность недостаточна.

Примем $h = 2$ *см*; тогда $\frac{942}{0{,}33 \cdot 2} < \frac{7000}{4}$.

Кроме того, часто ведут расчет на истирание ведущего пояска. Для уменьшения истирания следует уменьшать удельное давление на смятие. Расчет на истирание ведущего пояска можно не вести, если напряжения смятия не превосходят 2000—2500 *кг/см*^{2}.

Уменьшить напряжения смятия можно за счет увеличения числа ведущих поясков и глубины нарезов, а также за счет применения прогрессивной крутизны нарезов.

О глубине нарезов. Глубокая нарезка обеспечивает большую опорную поверхность для пояска и тем самым способствует уменьшению удельного давления на смятие. Значительное увеличение глубины нарезов нежелательно, так как с этим связано значительное увеличение момента силы N, стремящейся изогнуть поле. Момент, изгибающий поле, равен Nt. Снаряд с глубокими следами нарезов и большим выступанием пояска над корпусом имеет худшую внешнюю баллистику: уменьшается дальность стрельбы и кучность боя. Иногда с целью увеличения живучести принимают увеличенную глубину нарезов — до 0,015 и даже до 0,02 калибра.

§ 6. УСТРОЙСТВО КАМОР

Различие устройства камор связано со способом заряжания.

Основные способы заряжания следующие: унитарный гильзовый, раздельный гильзовый, картузно-раздельный.

На рис. 45 показана схема каморы для унитарного гильзового заряжания.

Камора по форме подобна наружному очертанию гильзы (см. рис. 46).

Основными частями каморы являются:

а) основной конус (I), в котором помещается основной конус гильзы;

б) переходной конус (II), соединяющий основной конус с цилиндрической частью каморы, в которой помещается дульце гильзы после заряжания;

в) цилиндрическая часть (III) под дульце гильзы;

г) соединительный конус (IV), соединяющий гладкую цилиндрическую часть каморы с нарезной частью канала (иногда бывает два соединительных конуса). Соединительный конус иначе называется опорным, так как в него упирается ведущий поясок снаряда после заряжания (при унитарном

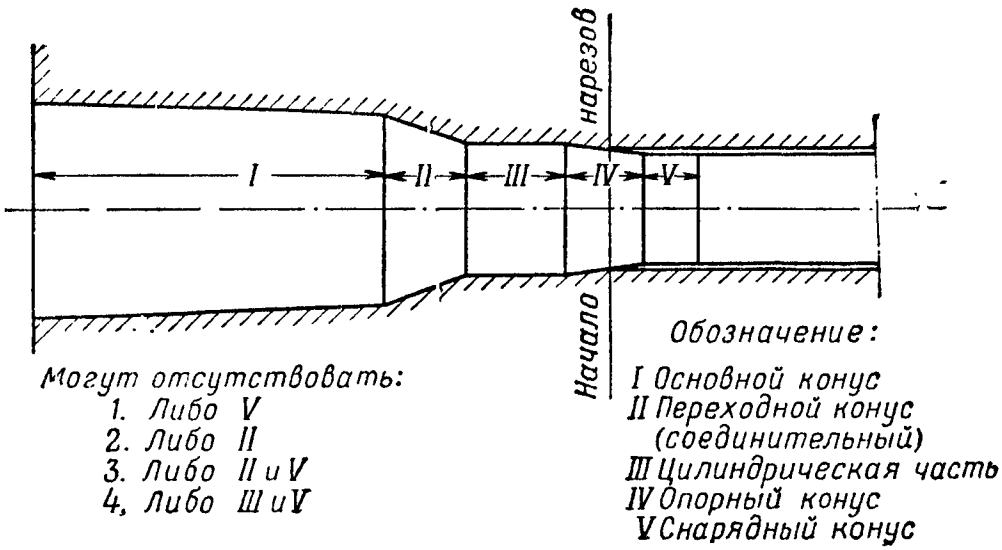


Рис. 45. Камора для унитарного гильзового заряжания

заряжании между пояском и опорным конусом имеется небольшой зазор);

д) снарядный конус (V).

В системах с большим зарядом целесообразно делать каморы, наибольший диаметр которых значительно превышает калибр орудия. При этом длина каморы и патрона уменьшается. При таком устройстве каморы создается удобство обслуживания, повышается скорострельность, упрощается уравновешивание системы.

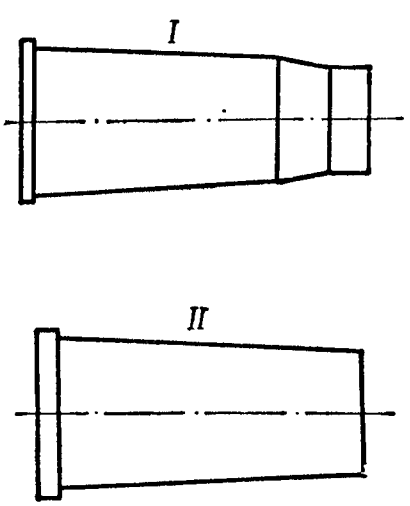
Отношение наибольшего диаметра каморы к калибру является одной из важнейших характеристик устройства каморы и называется диаметральной бутылочностью каморы χ_d.

$$\chi_d = \frac{d_{кам}}{d}.$$

Величина диаметральной бутылочности каморы колеблется от 1,05 до 1,5 и даже более (для системы с весьма большим зарядом).

В баллистике рассматривается еще линейная бутылочность, или просто бутылочность, равная отношению приведенной длины каморы к действительной.

$$\chi = \frac{l_0}{l_{кам}}.$$



I–для нераздельного заряжания
II–для раздельного заряжания

Рис. 46. Гильзы для унитарного (нераздельного) и раздельного заряжания

На практике при малой бутылочности эти величины мало отличаются одна от другой, т. е.

$$\chi \approx \chi_д.$$

Зазор между стенками каморы и наружной поверхностью гильзы должен быть в пределах от 0,3 *мм* (в районе дульца) до 0,7 *мм* (в районе донной части гильзы).

Указанные величины зазоров обеспечивают легкость заряжания, легкость выбрасывания гильзы и надежность обтюрации (герметической закупорки дна каморы). Металл гильзы во время выстрела не разрушается и сохраняет упругие свойства, что необходимо для многократного использования гильзы.

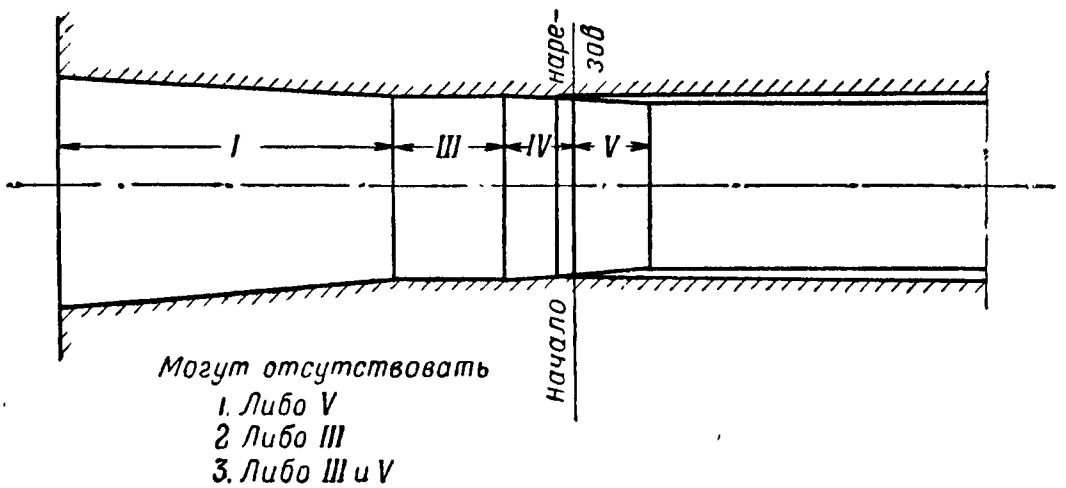


Рис. 47. Камора для раздельного гильзового заряжания. Из указанных частей каморы могут отсутствовать: либо V, либо III, либо III и V

На рис. 47 показана камора для раздельного гильзового заряжания. Эта камора имеет небольшое число составляющих ее элементов. Здесь основной конус (I) может сразу переходить в соединительный (опорный) конус. Может быть конструкция каморы, у которой между основным и опорным конусами имеется цилиндрический участок (III). Это делается для систем с большим объемом каморы и малым зарядом (у гаубиц) с целью упрощения технологии производства.

Гильза (кроме фланца) полностью должна помещаться в основном конусе. Гильза для раздельного заряжания (рис. 46), кроме закраины (фланца), имеет только один элемент — основной конус. Фланец гильзы упирается, как правило, в кольцевой выступ на казенном срезе трубы, чем и определяется правильное положение гильзы в каморе.

На рис. 48 показана камора для раздельного картузного заряжания.

Для закрывания такой каморы применяется поршневой затвор с пластическим обтюратором (см. рис. 59 и 61).

В данной конструкции основным элементом для помещения заряда и создания объема каморы является цилиндрический участок. Спереди к цилиндрическому участку примыкает соединительный (опорный) конус, а сзади (к казне) за цилиндрическим участком следуют переходной конус (от большего диаметра к меньшему), цилиндрическая горловина и запорный конус. На поверхность запорного конуса опирается обтюраторная подушка, которая не пропускает при выстреле газы из каморы в затворное гнездо. Поэтому поверхность запорного конуса называется обтюраторным скатом.

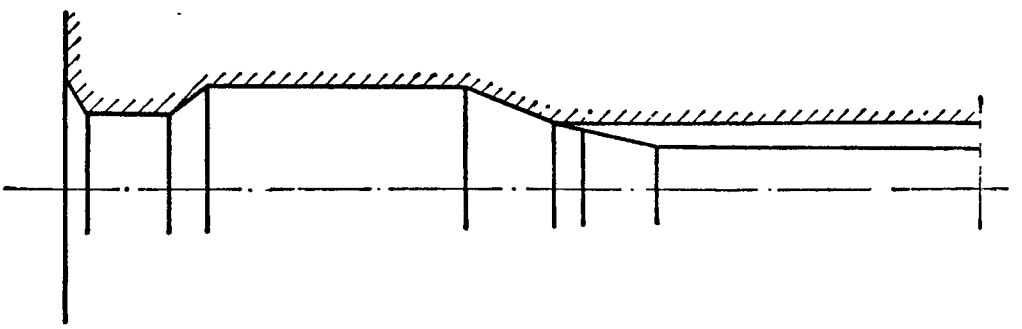


Рис. 48. Камора для раздельного безгильзового (картузного) заряжания с пластическим обтюратором

Благодаря наличию горловины уменьшается площадь поршня, на которую давят газы при выстреле. Тем самым уменьшается сила действия газов на затвор.

В системах, у которых камора имеет малый объем, горловина может отсутствовать. В этом случае запорный конус сразу переходит в основной цилиндр, который непосредственно граничит с соединительным (опорным) конусом.

Все типы камор должны обеспечивать расчетную величину объема зарядной каморы W_0. При наличии гильзового заряжания величина W_0 определяется по внутреннему контуру гильзы, а не по стенкам каморы.

Для приближенного расчета можно принять, что объем металла гильзы занимает около 5—10% от всего объема каморы, вычисленного (для чертежа) без гильзы. Чем больше калибр, тем меньше относительный объем гильзы.

О конусности элементов каморы. Конусностью называется отношение разности диаметров конуса к длине конуса.

Основной конус камор для унитарного заряжания имеет конусность от $\frac{1}{50}$ до $\frac{1}{120}$. Переходной конус имеет конусность от $\frac{1}{5}$ до $\frac{1}{10}$. Соединительный конус имеет конусность от $\frac{1}{10}$ до $\frac{1}{20}$.

Следует иметь в виду, что камору обычно подгоняют к существующим гильзам, а значения конусности принимают на основании опыта эксплуатации орудий и исходя из производственных соображений.

§ 7. ОСОБЕННОСТИ УСТРОЙСТВА СТВОЛОВ С КОНИЧЕСКИМИ КАНАЛАМИ

Впервые ствол с коническим каналом был изобретен в России в 1905 г. талантливым изобретателем М. М. Другановым. Им был разработан и специальный унитарный патрон для конического канала. Благодаря коническому каналу представлялось возможным получить бо́льшую начальную скорость снаряда при сравнительно небольшой длине ствола, но при большом объеме его канала.

Канал имел большое поперечное сечение, постепенно сужающееся к дульному срезу, чем обеспечивалась возможность большого расширения газов на сравнительно малом пути снаряда по каналу ствола. Кроме того, к моменту вылета из ствола снаряд проходил часть ствола с наименьшим поперечным сечением, а это являлось выгодным с точки зрения внешней баллистики.

В стволе с коническим каналом совершается большая работа по обжатию ведущих частей снаряда, вследствие чего поля нарезной части этих стволов быстро изнашиваются, особенно если обжатие ведущих частей снаряда происходит на нарезном участке канала.

Для уменьшения износа канала ствола создают специальные легкие и легко деформирующиеся ведущие части снаряда. Для этой же цели делают также нарезы специальной формы (переменной глубины и ширины), чтобы поля нарезов были наиболее прочными в области наибольших нагрузок.

Чтобы освободить нарезную часть ствола от работы по обжатию ведущих частей снаряда, делают стволы с коническо-цилиндрическими насадками. У этих стволов нарезную часть делают цилиндрической, а на конец ствола навинчивают специальную насадку с гладким каналом, часть которого (примыкающая к нарезной части) — коническая, (где в основном происходит обжатие снаряда), а другая часть (дульная) — цилиндрическая. Производство ствола с насадкой проще, чем производство ствола с конической нарезной частью.

Стволы с коническими каналами не получили широкого распространения. Причины этого — сложность производства стволов и снарядов к ним, невозможность использования этих снарядов для стрельбы из других систем того же калибра, а также малая живучесть стволов.

ГЛАВА VII

ИЗНОС ОРУДИЙНЫХ СТВОЛОВ И МЕРЫ ПОВЫШЕНИЯ ИХ ЖИВУЧЕСТИ

§ 1. ИЗНОС И ОМЕДНЕНИЕ ОРУДИЙНЫХ СТВОЛОВ

Каждое артиллерийское орудие, изготовленное из вполне доброкачественного металла с требуемым запасом прочности и удовлетворяющее всем конструктивным и тактико-техническим требованиям, в процессе стрельбы постепенно изнашивается.

Если вести непрерывное наблюдение за каналом ствола во время баллистической жизни орудия, то при правильной его эксплуатации можно обнаружить на поверхности канала явления износа, развивающиеся в определенной последовательности.

Для примера рассмотрим, как происходит изнашивание канала ствола орудия войсковой артиллерии среднего калибра.

Первое, что можно заметить в канале ствола,— это омеднение его поверхности. Уже через несколько выстрелов (менее 10) будут заметны следы омеднения канала — медь тонкими слоями окажется нанесенной на боевые грани полей и на донья нарезов. На других участках поверхности канала ствола следы меди будут менее заметны.

Подробные исследования показывают, что медь наносится на поверхность канала в основном под воздействием пороховых газов, прорывающихся через мельчайшие зазоры между пояском и стволом. Частицы меди срываются с пояска движущегося снаряда силами трения и наслаиваются на поверхность канала ствола.

Предположение о влиянии пороховых газов на омеднение металла подтверждается тем, что в орудиях картузного заряжания можно обнаружить налеты меди и на ненарезной поверхности канала ствола.

После нескольких десятков выстрелов омеднение поверхности канала ствола заметно увеличится, а в районе соедини-

тельного конуса и начала нарезной части ствола поверхность канала незначительно потемнеет.

При осмотре потемневшего участка поверхности канала через специально приспособленную для этой цели оптическую трубу можно различить отдельные точки и извилистые мелкие черточки, имеющие направление либо параллельно оси канала, либо по окружности его поперечного сечения (оптическая труба имеет электролампу для освещения наблюдаемой поверхности и отражательное зеркало для отражения лучей от поверхности канала в оптическую систему трубы).

При обследовании канала после нескольких сотен выстрелов можно даже невооруженным глазом заметить на начальном участке нарезов раковины, напоминающие следы ржавчины. При осмотре канала, освещаемого электролампой, легко обнаружить сетку разгара, которая покрывает всю поверхность канала на протяжении 2—3 калибров от начала нарезов (вперед).

Сетка разгара в начале нарезов будет составлена в основном из пересекающихся трещинок, имеющих осевое и тангенциальное (окружное) направление.

При обмере звездкой диаметра канала по полям обнаружится увеличение калибра на начальном участке нарезов. Поля окажутся значительно сглаженными, истертыми.

На отдельных полях можно заметить выколы металла.

Омеднение резко увеличится в средней части канала, заметно возрастет в дульной части и совсем ничтожно будет в области наибольшего износа ствола (соединительный конус и начальный участок нарезов); из этой области и медь и сталь вымываются мощными газовыми струями, идущими из каморы к снаряду. Обмером можно установить увеличение калибра в дульном срезе.

При обследовании канала после 1—2 тысяч выстрелов можно заметить резко углубившиеся трещины сетки разгара и большее число выколов металла полей. Некоторые поля могут оказаться совсем сорванными на участке протяжением до калибра и даже более.

При обмере длины каморы специальным прибором обнаруживается заметное удлинение каморы. Вся поверхность нарезной части канала будет матовой.

Иногда бывает заметно кольцевое поперечное раздутие канала на одном участке ближе к месту нахождения снаряда в момент наибольшего давления газов (т. е. ближе к казне). В иных случаях можно заметить усиленное омеднение одного поперечного сечения (по окружности), что создает своеобразное местное сужение канала и уменьшение калибра в данном сечении.

При повторных обследованиях после постепенно возрастающего числа выстрелов будет обнаружено выкалывание почти

всех полей на начальном участке нарезов. Вся поверхность начального участка нарезов (на протяжении около 3 калибров) окажется резко изборожденной трещинами разгара. Вид поверхности канала будет напоминать обгоревшее дерево. Длина каморы с увеличением числа выстрелов будет непрерывно возрастать.

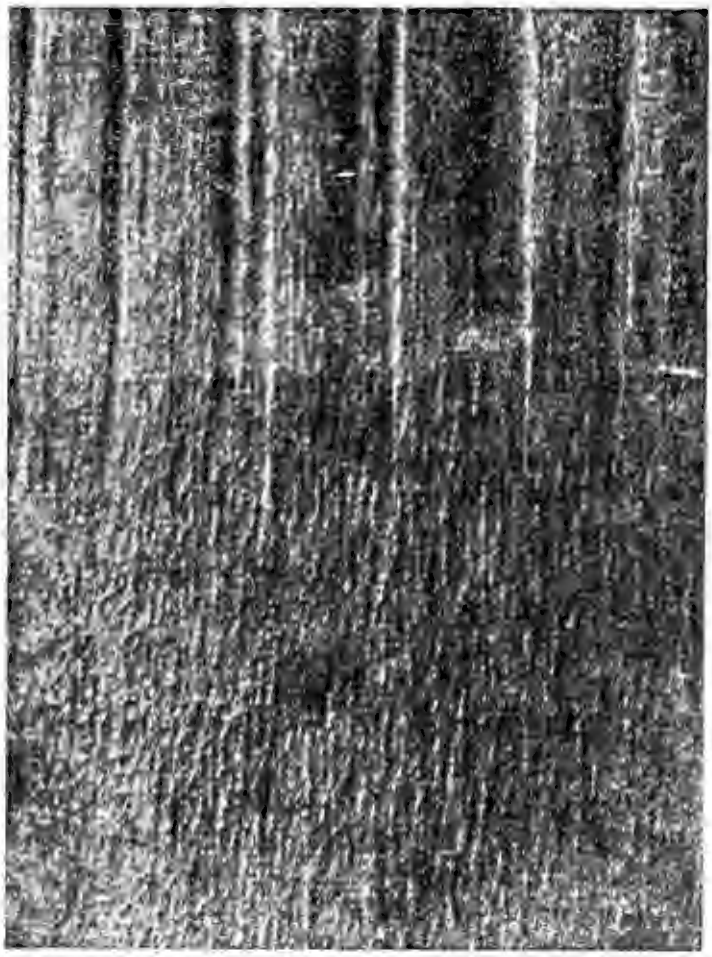


Рис. 49. Вид нарезной части ствола после большого числа выстрелов

При обмере канала звездкой обнаружится непрерывное увеличение калибра почти по всей длине нарезной части канала. Поля станут заметно скругленными по ребру боевой грани. В части канала, сравнительно мало изнашиваемой, как правило, будет значительное омеднение поверхности.

Заметно скругленными окажутся поля в районе дульной части ствола. Будут происходить срывы выступов ведущего пояска. Устойчивость снаряда на полете будет нарушаться.

При стрельбе из ствола, выдержавшего 5—7 тысяч выстрелов, можно услышать посторонние шумы от снаряда, летящего в воздухе. Иногда наблюдаются ненормальные отклонения снаряда по дальности и в боковом направлении. Рассеи-

вание резко увеличится, вероятность попадания в цель уменьшится. Потребуется непрерывно увеличивать число выстрелов для поражения цели при всех прочих равных условиях.

При систематическом измерении начальной скорости будет обнаруживаться постепенное уменьшение ее с ростом числа выстрелов.

После 8—15 тысяч выстрелов все чаще полет снарядов будет сопровождаться дополнительными характерными свистами, шумами. В отдельных случаях будут происходить срывы ведущих поясков, так как снаряд в канале разгоревшего ствола не имеет строгого центрирования и получает резкие, разрушающие удары по пояску.

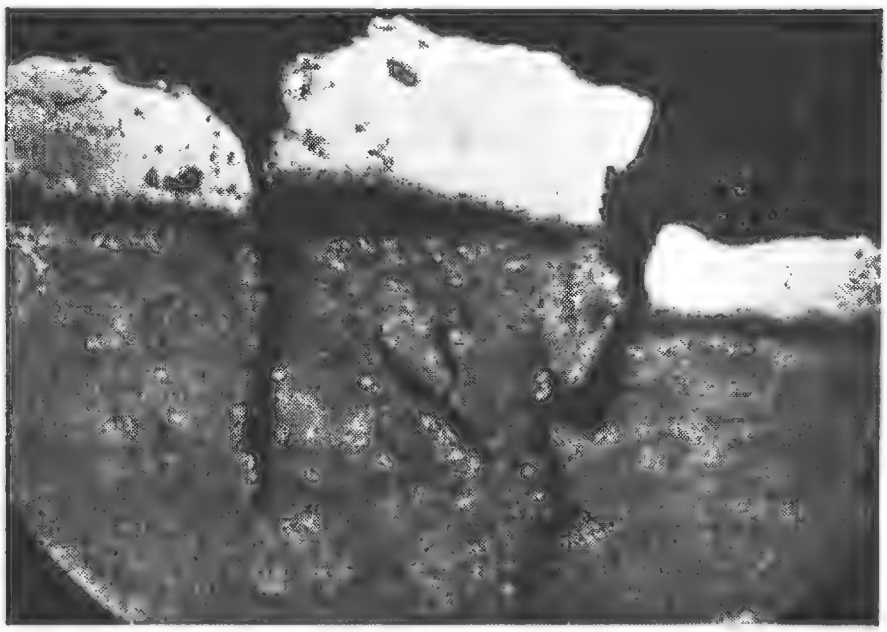


Рис. 50. Сильно увеличенный вид нарезной части ствола после большого числа выстрелов. Видна корочка выгорания и трещины на ней

Вероятные отклонения становятся в 2—3 раза больше табличных. При стрельбе из гаубиц на наименьшем заряде получаются отказы взрывателей (они не взводятся при движении снаряда в канале ствола).

На поверхности канала будет непрерывно увеличиваться ширина и глубина трещин; будет увеличиваться и длина каморы. Ствол станет негодным к дальнейшему использованию вследствие весьма большого рассеивания и частого отказа взрывателей при стрельбе наименьшим зарядом (относится только к гаубицам и мортирам).

На рис. 49 и 50 показано состояние канала ствола после большого числа выстрелов.

На рис. 51 показано распределение износа по длине нарезной части — максимум износа имеется на начальном участке

нарезов, минимум — на средней части и довольно значительный износ — в дульной части канала. Для определения состояния поверхности канала очень полезными могут быть слепки, которые легко сделать в любой войсковой части под руководством артиллерийского техника.

Осмотр поверхности канала ствола производится всегда после тщательной чистки канала и протирания его насухо пыжом с белой салфеткой.

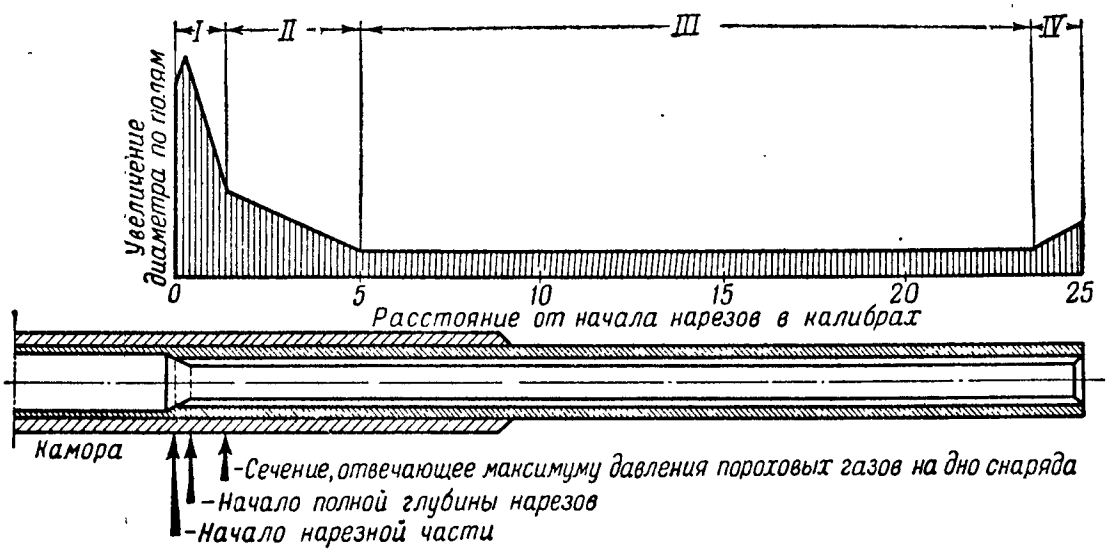


Рис. 51. Распределение износа нарезной части ствола по длине ствола

§ 2. ОСНОВНЫЕ ПРИЧИНЫ ИЗНОСА СТВОЛОВ

Износ стволов представляет собой весьма сложное явление, вызываемое многими причинами.

Сложность явления износа породила ряд теорий, объясняющих сущность износа. Обычно принято было все теории делить на три группы в зависимости от того, какую причину данная теория считает основной. Так возникли термическая, механическая и химическая теории износа стволов. Однако все эти теории были однобокими; они не могли дать правильного объяснения явления износа.

Первым в мире произвел всестороннее исследование причин износа орудий и заложил основы универсальной теории износа профессор Артиллерийской академии Чернов Д. К. (1912 г.). Наиболее полное исследование всех причин износа с использованием опыта первой мировой войны и полигонных данных до 1930 г. произвел профессор Артиллерийской академии Головин А. Ф. (1930 г.). Изучение причин износа орудий ведется в СССР на артиллерийских полигонах и в специальных институтах.

Благодаря всем этим исследованиям наши конструкторы и производственники знают, как делать наиболее живучие ору-

дия, артиллеристы же знают, как следует обращаться с материальной частью, чтобы она как можно дольше не выходила из строя.

Опытные и теоретические исследования показали, что износ стволов связан с тремя видами действия пороховых газов на металл — термическим (тепловым), механическим и химическим. Все это и учтено в нашей отечественной теории износа стволов.

Термическое действие газов. Термическое действие связано с высоким нагревом внутренней поверхности ствола пороховыми газами, имеющими температуру 2500—3500° С. Нагрев ствола происходит также от работы форсирования ведущего пояска, врезания полей ствола в поясок снаряда и трения между снарядом и поверхностью канала ствола.

Нагрев ствола вызывает резкие изменения механических свойств металла, а неравномерность нагрева сопровождается высокими температурными напряжениями.

Можно ориентировочно принять, что при нагреве до 600° С предел упругости орудийных сталей уменьшается в 2 раза для легированных сортов и в 3 раза для углеродистых сортов, временное сопротивление соответственно падает в 2,5 и в 4 раза, а коэффициент динамичности возрастает в 2 и в 3 раза.

При дальнейшем нагреве предел упругости и временное сопротивление продолжают падать. Расчеты и опытные данные показывают, что внутренние слои металла толщиной в несколько сотых миллиметра (5—10 сотых) нагреваются до температуры 700—1000° С и даже выше.

Температурные напряжения, вызываемые неравномерностью нагрева, можно определять по формуле

$$\sigma_t = E_t \alpha_t \Delta T,$$

где σ_t — температурное напряжение по направлению, в котором металл не может свободно расширяться;

E_t — модуль упругости 1-го рода при данной температуре нагрева металла; с ростом температуры величина E_t плавно уменьшается;

α_t — температурный коэффициент линейного расширения металла (средний для всего интервала нагрева); для орудийных сталей можно принять $\alpha_t = 12 \cdot 10^{-6}$;

ΔT — разность температур в металле элементарного внутреннего слоя и в остальной массе металла.

Этой формулой можно пользоваться для расчета температурных напряжений по тем направлениям, в которых металл не имеет возможности деформироваться при нагреве.

Внутренний тончайший слой металла ствола не может самостоятельно расширяться по окружному (тангенциальному) и осевому направлениям, так как этому препятствует остальная масса металла.

Следовательно, неравномерность нагрева при $\Delta T = 1°$ С вызывает во внутреннем тончайшем слое металла трубы тангенциальные и осевые напряжения, равные между собой и определяемые выражением

$$\sigma_{k,\,t,\,1} = \sigma_{z,\,t,\,1} = E_t \alpha_t.$$

Если принять

$$E_t = 2\,000\,000 \ кг/см^2,$$

то

$$\sigma_{k,\,t,\,1} = \sigma_{z,\,t,\,1} = 2\,000\,000 \cdot 12 \cdot 10^{-6} = 24 \ кг/см^2.$$

Температурные напряжения являются напряжениями сжатия, так как металл при нагреве расширяется, а сопротивление наружных масс металла препятствует этому расширению.

При разности температур в 100° (т. е. $\Delta T = 100°$) напряжения имеют значения

$$\sigma_{k,\,t,\,100} = \sigma_{z,\,t,\,100} = 100\sigma_{t,\,1} = 2400 \ кг/см^2.$$

Температурные напряжения металла частично уравновешиваются действием газов, но сразу же после вылета снаряда металл элементарного внутреннего слоя подвергается резкому сжатию, превышающему предел упругости и временное сопротивление, что приводит к образованию трещин.

Наибольший нагрев бывает в начале нарезной части канала, так как здесь металл нагревается от работы форсирования, врезания полей и от давления пороховых газов, имеющих высокую температуру.

После вылета снаряда и истечения пороховых газов элементарно тонкий внутренний слой металла ствола резко охлаждается за счет отдачи тепла остальной массе металла. Резкий переход от высоких температур к низким вызывает явление самозакалки металла, который становится хрупким.

Механическое действие газов. Газы во время выстрела движутся в заснарядном пространстве вперед со скоростью в несколько сотен метров в секунду и даже более тысячи метров в секунду. Кроме того, за снарядом происходит вихревое движение газов. Плотность газовых потоков — не менее плотности воды. Вместе с газами движутся также горящие пороховые зерна. Частицы газов и пороховые зерна наносят сильные удары по поверхности канала ствола и разрушают металл. Происходит явление, аналогичное размыванию речного русла. Ослабленные поля нарезной части ствола сравнительно легко выкалываются под давлением ведущего пояска при последующих выстрелах.

Химическое действие пороховых газов. Молекулы газов при высоких давлениях и высокой температуре

распадаются на атомы, которые активно соединяются с металлом и проникают в его поры. В итоге получаются выгорание, цементация и азотирование металла. Наружный слой металла (по поверхности канала) становится очень твердым и хрупким и выкрашивается под давлением ведущего пояска.

На основании изложенного можно сделать вывод о том, что нарезные стволы современных орудий, несмотря на высокое качество орудийных сталей, в процессе стрельбы изнашиваются даже при их отличном обслуживании. Но величина износа и живучесть больше всего зависят от условий эксплуатации. Например, если заряжать орудие запыленными снарядами или стрелять из загрязненного ствола, то даже небольшие песчинки, попавшие в канал ствола, будут оставлять царапины на его поверхности. Если при движении в канале ствола снаряд будет встречать большое сопротивление, то может произойти раздутие ствола или разрыв снаряда и орудия. Строгое выполнение правил эксплуатации обеспечивает высокую живучесть и боеспособность артиллерии.

§ 3. МЕРОПРИЯТИЯ ПО ПОВЫШЕНИЮ ЖИВУЧЕСТИ ОРУДИЙНЫХ СТВОЛОВ

Для повышения живучести орудийных стволов проводятся мероприятия служебного и конструктивного характера.

К служебным мероприятиям относится все то, что обеспечивает правильную эксплуатацию материальной части артиллерии.

Нужно соблюдать следующие правила эксплуатации:

1. Не допускать стрельбы из плохо вычищенных или из смазанных стволов. Перед заряжанием тщательно осматривать канал, чтобы в нем не было посторонних предметов и смазки. Особенно внимательно проверять танковые и самоходные пушки.

Все механизмы орудия должны своевременно готовиться к стрельбе согласно руководствам службы.

2. Не заряжать орудия неочищенными от пыли и излишней смазки снарядами и гильзами. Строго следить за отсутствием забоин на снарядах и взрывателях, за соответствием взрывателей своему назначению, за правильностью их установок.

3. Стрелять наименьшим зарядом, которым можно выполнить данную задачу. Не стрелять полным зарядом зимой при наличии загустевшей жидкости в противооткатных устройствах (давать прогревной выстрел на малом заряде).

4. Не производить стрельбу с излишней скорострельностью (сверх действительно необходимой).

5. Правильно досылать снаряд при раздельном заряжании — снаряд должен быть надежно заклинен своим ведущим

пояском в начале нарезной части канала ствола (опускание снаряда в стволе или простая недосылка его вызывают изменение плотности заряжания, что может вызвать резкий рост давления газов).

Для поддержания живучести стволов раздельно-гильзовый способ заряжания является наилучшим. При этом способе заряжания всегда представляется возможным придать снаряду крайнее переднее положение в стволе до выстрела, наличие же гильзы способствует уменьшению нагрева стенок ствола. Для систем, обладающих большой скорострельностью, применение унитарного патрона, как правило, исключает случаи неправильного заряжания.

6. Охлаждать ствол, для чего оставлять затвор открытым в перерывах между стрельбами. Охлаждение ствола способствует предохранению от разрушения не только элементарно тонкого слоя металла, но и всего ствола. Если весь ствол будет нагреваться до высокой температуры, то его механическая прочность может оказаться недостаточной для сопротивления действию пороховых газов. С этой точки зрения нежелательно делать тонкостенными стволы орудий, обладающих большой скорострельностью.

7. Не допускать длительного нахождения заряда в каморе в случае неожиданного перерыва после напряженной стрельбы, вызвавшей значительный нагрев ствола (чтобы избежать самовоспламенения заряда).

8. Своевременно проводить размеднение канала ствола согласно руководству по ремонту.

9. Своевременно зачищать заусенцы на поверхности канала и острые края в местах выкола полей нарезов.

10. Своевременно чистить и смазывать ствол, строго соблюдая все необходимые правила. Несвоевременная чистка и смазка приводят к коррозии стволов и преждевременному выходу их из строя.

11. Протирать (пробанивать) стволы в промежутках между отдельными очередями выстрелов. По возможности перед каждым выстрелом осматривать ствол, чтобы своевременно заметить наружные вмятины и внутренние изменения размеров канала (раздутия, сужения).

Конструктивные мероприятия, способствующие повышению живучести орудий, в основном заключаются в следующем.

А. В отношении устройства каналов стволов:

1. Не делать резких переходных и соединительных конусов каморы (особенно это относится к соединительному конусу).

2. Не делать острых углов в сопряжении полей с дном нареза.

Б. В отношении производства стволов:

1. Возможно лучше полировать поверхность канала ствола.

2. Подбирать металл для трубы с высокой ударной вязкостью, мало чувствительный к изменению механических свойств при нагреве и охлаждении.

3. Не делать резких уступов в конструкции ствола.

4. Не делать тонких дульных участков.

5. Не допускать овальности канала, чтобы газы не могли прорываться вперед из заснарядного пространства.

В. В отношении зарядов:

1. Применять пороха с возможно меньшей температурой горения.

2. Установить надежное воспламенение всего заряда, исключающее выскоки давления.

3. Применять флегматизаторы. При выстреле жировой состав флегматизаторов осаждается в виде тончайшей жировой пленки на стенках канала и предохраняет тем самым металл от непосредственного действия раскаленных газов. Флегматизаторы могут повышать живучесть стволов в 5—10 раз.

4. Применять размеднители. Омеднение канала приводит к уменьшению высоты полей, что вызывает увеличение давления на боевой грани при одной и той же силе. Так как омеднение в основном имеет наибольшее значение в области высоких давлений газов, где износ полей также значителен, то очевидно, что износ и омеднение ведут к увеличению напряжений в металле пояска и полей нарезов. Поэтому омеднение канала вызывает излишнее истирание ведущих поясков и повышенный нагрев металла ствола и пояска, кроме того, оно способствует более быстрому срыву ведущего пояска.

Размеднитель — это легкоплавкий металл, легко вступающий в сплав с медью. Сплав имеет невысокую температуру плавления и во время выстрела, находясь в жидком состоянии, легко удаляется из ствола пороховыми газами.

5. При конструировании орудия избегать чрезмерно больших давлений газов.

Г. В отношении устройства снарядов:

1. Не делать чрезмерно больших наружных диаметров ведущих поясков.

2. Необходимое увеличение диаметра пояска по сравнению с диаметром канала по нарезам обеспечивать только за счет узкого буртика на ведущем пояске.

3. Применять кольцевые проточки на ведущих поясках для устранения больших напряжений на полях при врезании пояска.

4. В производстве снарядов избегать наклепа металла пояска, связанного с технологией посадки пояска на корпус снаряда.

5. Обеспечивать максимально возможную перпендикулярность плоскости дна снаряда к оси снаряда.

§ 4. ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ СТЕПЕНИ ГОДНОСТИ ОРУДИЯ К БОЕВОМУ ИСПОЛЬЗОВАНИЮ

Орудие становится негодным, если его баллистические качества понизятся настолько, что при стрельбе из этого орудия нельзя будет выполнить боевую задачу. Понижение баллистических качеств орудия в данном случае выражается в большом рассеивании, в получении (систематически) больших недолетов, в уменьшении живой силы снаряда. Орудие считается также негодным, если из него нельзя вести стрельбу без опасения поразить свои войска, находящиеся на небольшом удалении от объектов обстрела.

Между изменениями боевых свойств орудия (дальнобойности, бронебойности, кучности стрельбы, безотказности действия взрывателя) и уменьшением начальной скорости снаряда имеется определенная связь. Поэтому для установления годности орудия следует определить его начальную скорость по результатам отстрела или по фактическому состоянию каморы (по ее удлинению).

Принято ориентировочно считать орудие негодным к дальнейшему использованию, если падение начальной скорости достигло 10% (в зенитной артиллерии — 5—7%).

Стволы могут быть забракованы даже при неполной допустимой величине падения начальной скорости, если наблюдается большое рассеивание (площадь рассеивания в восемь раз больше табличной) или происходят частые срывы ведущих поясков и отказы взрывателей при стрельбе наименьшим зарядом.

При определении действительного падения начальной скорости стрельбой следует с исключительной тщательностью подготовить все боеприпасы (подобрать заряды по одинаковым маркам и годам изготовления; правильно измерить температуру зарядов). Заключение делать после серии выстрелов. Желательно параллельно вести отстрел из вполне исправного орудия.

Необходимо проверять состояние канала ствола по виду ведущих поясков снарядов после выстрела (не должно быть следов срыва выступов пояска).

Независимо от удлинения каморы рекомендуется через каждые 500—1000 выстрелов производить контрольные стрельбы для определения начальной скорости и рассеивания.

Для повышения живучести орудий личный состав войсковой части обязан точно соблюдать правила боевой эксплуатации орудий и использовать орудия в соответствии с их категориями (установленными в зависимости от степени износа).

Всесторонние исследования живучести орудий произвел профессор Слухоцкий В. Е. Его выводы используются конструкторами, производственниками, полигонами и войсками.

ГЛАВА VIII

ОСНОВАНИЯ УСТРОЙСТВА КАЗЕННИКОВ И ЗАТВОРОВ

§ 1. ТИПЫ КАЗЕННИКОВ И ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К НИМ ТРЕБОВАНИЯ

Казенником называется отдельная деталь ствола, имеющая затворное гнездо для помещения основной запирающей детали затвора — поршня или клина. Казенники в зависимости от конструкции соединения с остальной частью ствола бывают двух типов:

а) навинтные, например у 152-*мм* гаубицы-пушки обр. 1937 г. (рис. 52) и

б) ввинтные, например у 203-*мм* гаубицы (рис. 53).

Навинтные казенники имеют две разновидности — одни из них навинчиваются непосредственно на кожух или на трубу ствола, другие соединяются с остальной частью ствола с помощью соединительной муфты или гайки (рис. 54).

Нарезка навинтных казенников некоторых орудий делается прерывчатой, т. е. с гладкими секторами, для быстроты сборки и разборки (у зенитных орудий).

У некоторых навинтных казенников имеется ввинтная втулка казенника с затворным гнездом. Эта конструкция очень выгодна для орудий крупного калибра (экономия высоколегированной стали и удобство смены свободного лейнера или свободной трубы).

Во время первой мировой войны большинство орудий не имело отдельных казенников, и затвор помещался в кожухе или в трубе.

Иметь отдельный казенник выгодно, так как в случае износа ствола в орудии меняется только труба. Кроме того, производство казенника упрощается, если он представляет собой отдельную деталь.

При наличии массивного казенника представляется возможным уравновесить качающуюся часть орудия относительно оси цапф без использования специальных уравновешивающих

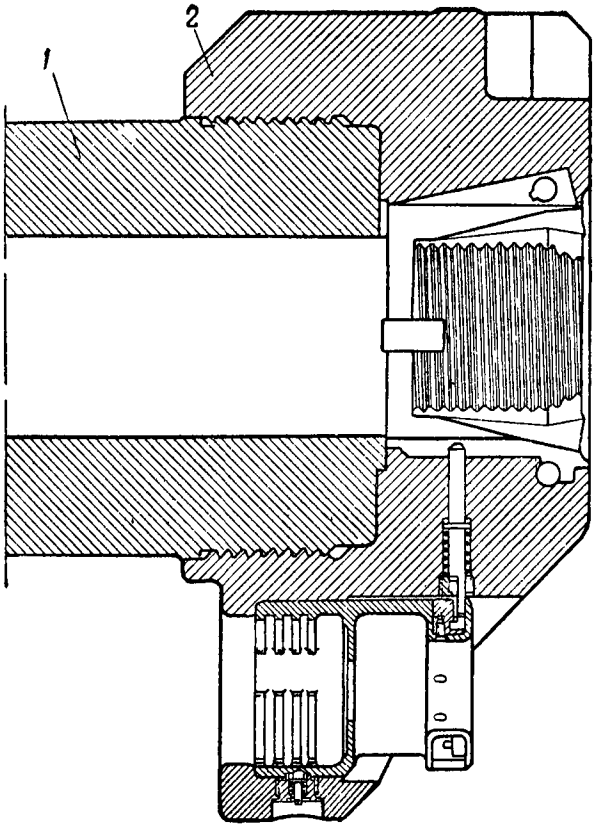


Рис. 52. Навинтной казенник (без промежуточной муфты):
1 — труба; *2* — казенник

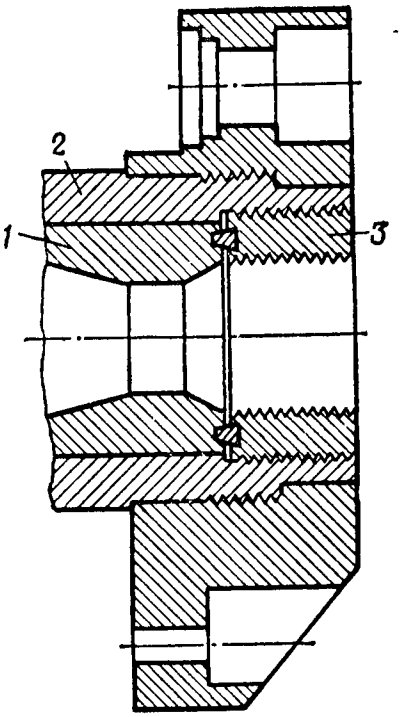


Рис. 53. Ввинтной казенник:
1 — труба; *2* — кожух; *3* — казенник

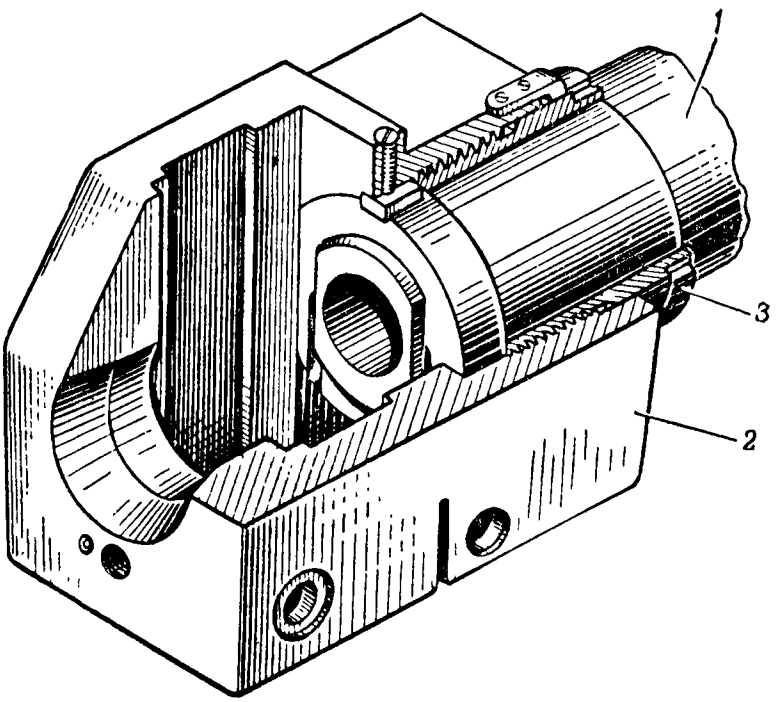


Рис. 54. Навинтной казенник, соединенный с трубой с помощью промежуточной гайки (муфты):
1 — труба; *2* — казенник; *3* — муфта

механизмов, что широко применяется в корабельной и береговой артиллерии.

Первые казенники в России (впервые в мире) появились с принятием на вооружение стволов из специальной орудийной стали во второй половине XIX в.

Казенник надежно и просто удерживает лейнер и свободную трубу в оболочке ствола.

К казенникам предъявляются следующие требования:

1. Казенник вместе с затвором и гильзой (или обтюратором) должен обеспечивать надежное запирание канала ствола во время выстрела.

2. Казенник должен быть надежно прочным даже при большой его перегрузке по сравнению с нормальными расчетными условиями.

3. Казенник должен быть надежно зафиксирован на кожухе или на другой детали, чтобы не могло произойти самоотвинчивания на походе или во время выстрела. Резьбовое соединение должно быть самотормозящимся.

4. Соединение казенника с кожухом должно исключать возможность проворачивания или осевого смещения трубы во время стрельбы.

5. Конструкция казенника должна обеспечивать параллельность оси канала ствола с контрольной площадкой на казеннике и отсутствие качания трубы в казеннике в собранном виде (на походе и при стрельбе).

6. Масса казенника должна быть распределена так, чтобы центр тяжести откатных частей был по возможности на оси канала ствола и чтобы момент неуравновешенности качающейся части был наименьшим.

7. Конструкция казенника должна обеспечивать надежное и правильное крепление со стволом деталей противооткатных устройств, участвующих в откате и накате.

8. Конструкция казенника должна обеспечивать быстроту и правильность сборки и разборки ствола.

9. Казенники должны быть взаимозаменяемы, и производство их не должно быть сложным.

10. Конструкция казенника должна исключать возможность получения остаточных деформаций и напряжений от термообработки (не должно быть резких переходов от одних размеров к другим).

11. Конструкция казенника должна исключать возможность ударных нагрузок во время выстрела (не должно быть значительных зазоров между деталями ствола, а также между затвором и казенником).

12. Материал для казенников должен обладать большой ударной вязкостью при всех температурах, которые возможны при эксплуатации в боевой обстановке. Особенно тщательно

нужно проверять ударную вязкость при низких температурах (до —60° С).

В современной артиллерии почти все орудия (в том числе и минометы) имеют казенники.

§ 2. ПОНЯТИЕ О РАСЧЕТЕ КАЗЕННИКОВ НА ПРОЧНОСТЬ

Наибольшую нагрузку во время выстрела казенник получает при P_{max}.

Возьмем конструкцию навинтного казенника и рассмотрим, какие силы во время выстрела будут приложены к казеннику и как они действуют, причем будем считать, что эти силы имеют наибольшее значение (рис. 55).

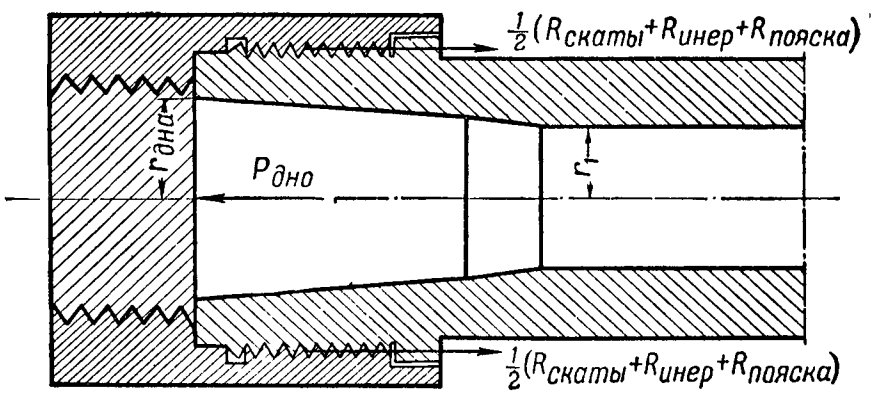


Рис. 55. Схема действия сил на казенник

1. Сила давления газов на дно канала ($P_{дно}$) действует через затвор и имеет следующее выражение:

$$P_{дно} = P_{max} \cdot S_{дна}.$$

Эта сила направлена вдоль оси канала ствола; она стремится отбросить казенник назад.

2. Сила инерции $R_{инер}$ всех деталей ствола, кроме казенника, выражается так:

$$R_{инер} = \frac{P_{max} \cdot S \cdot Q'_{ст}}{Q_0},$$

где Q_0 — вес откатных частей;

$Q'_{ст}$ — вес откатных частей, за исключением казенника и деталей, жестко с ним связанных (например, штоки противооткатных устройств).

Сила $R_{инер}$ приложена к виткам нарезки соединения казенника с остальной частью ствола. Эта сила тянет казенник вперед. Силу $R_{инер}$ вычисляют по формуле свободного отката, получая тем самым наибольшее ее значение.

3. Сила давления газов на скаты каморы канала ствола ($R_{\text{скаты}}$) выражается следующим образом:

$$R_{\text{скаты}} = P_{\max}(S_{\text{дна}} - S) \text{ или } R_{\text{скаты}} = P_{\max}\pi(r^2_{\text{дна}} - r^2_1),$$

где $r_{\text{дна}}$ — радиус дна каморы и r_1 — полукалибр канала.

Сила $R_{\text{скаты}}$ направлена вдоль оси канала ствола вперед и действует на казенник через нарезку соединения его с остальной частью подобно силе $R_{\text{инер}}$.

4. Силы накатника и гидравлического тормоза (П + Ф) также действуют на казенник: они тянут казенник вперед.

5. Реакция ведущего пояска снаряда $R_{\text{пояска}}$ через трубу передается на резьбовое соединение. Сила $R_{\text{пояска}}$ сравнительно мала, а поэтому не учитывается.

Проверке на прочность подвергаются следующие части казенника:

1. Резьбовое соединение казенника с кожухом или с муфтой казенника проверяется на действие сил $R_{\text{инер}} + R_{\text{скаты}}$.

Коэффициент запаса прочности на срез, смятие и изгиб резьбы должен быть не менее 2,0 по пределу упругости. Наилучшей резьбой следует считать упорную (пилообразной формы), которая не дает значительных радиальных сил, стремящихся разорвать казенник.

2. Поперечное сечение казенника в районе указанного выше резьбового соединения проверяется на поперечный разрыв от действия сил $R_{\text{инер}} + R_{\text{скаты}}$. Сечение нужно выбирать с наименьшей площадью.

Коэффициент запаса прочности на отрыв должен быть не менее 3,0 (желательно 4,0) по пределу упругости

$$\sigma_z = \frac{R_{\text{инер}} + R_{\text{скаты}}}{F_{\text{отрыв}}} \leq \frac{\sigma_e}{3 \div 4},$$

где σ_z — напряжение на растяжение;

$F_{\text{отрыв}}$ — площадь расчетная на разрыв (наименьшая).

Высокий запас прочности казенника берется с учетом сложности формы казенника, вызывающей концентрацию напряжений; учитывается также ослабление казенника различными вырезами для деталей затвора и нецентренность нагрузки относительно центра тяжести расчетного сечения (сечение обычно несимметрично и имеет сложную конфигурацию).

3. Резьбовое соединение с поршнем затвора, если затвор поршневой, проверяют на прочность, исходя из расчетной силы

$$P_{\text{дно}} = P_{\max} S_{\text{дна}}.$$

Коэффициент запаса прочности должен быть не менее 2,0 по пределу упругости при учете, что половина витков срезана.

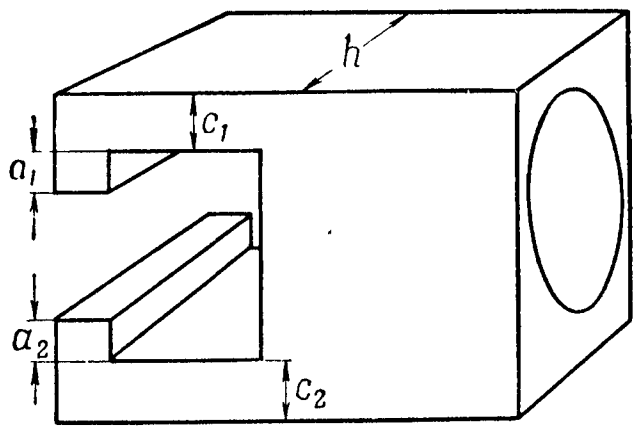


Рис. 56. Схема казенника под клиновой затвор

Резьба проверяется на срез, смятие и изгиб.

При расчете на изгиб надо принимать, что сила $P_{\text{дно}}$ приложена к вершинам витков резьбы.

4. Щеки затворного гнезда для клинового затвора (см. рис. 54) проверяются на поперечный разрыв, на смятие по площадям опоры клина и на изгиб (рис. 56)[1].

При проверке щек на поперечный разрыв и на смятие исходят из расчетной силы

$$P_{\text{дно}} = P_{\max} S_{\text{дна}}.$$

На изгиб надо рассчитывать щеку меньшего сечения от действия силы $\frac{P_{\text{дно}}}{2}$. Изгиб получается потому, что указанная сила приложена не к центру площади поперечного сечения щеки.

Щеки должны выдерживать растяжение и изгиб.

Допускается приближенно рассчитывать щеки на растяжение без учета изгиба их, при этом коэффициент запаса прочности должен быть не менее 3,0

$$\sigma_z = \frac{P_{\text{дно}}}{F_{\text{щек}}} \leq \frac{\sigma_e}{3},$$

где $F_{\text{щек}}$ — площадь поперечного сечения обеих щек, причем

$$F_{\text{щек}} = h(c_1 + c_2).$$

При проверке прочности щек на смятие пользуются формулой

$$\sigma_d = \frac{P_{\text{дно}}}{(a_1 + a_2) \cdot l_{\text{клина}}} \leq \frac{\sigma_e}{2},$$

где σ_d — напряжение смятия;

$l_{\text{клина}}$ — длина клина (опорной части);

a_1 и a_2 — ширина опорных участков для клина.

[1] Наличие перемычки, связывающей щеки казенника, значительно повышает прочность щек (см. рис. 54).

§ 3. ОЦЕНКА РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ КАЗЕННИКОВ

На основании опыта Великой Отечественной войны наилучшим типом казенника для наземной артиллерии следует считать навинтной казенник с промежуточной муфтой.

Этот тип казенника принят в основных образцах полевой артиллерии. Он обеспечивает наиболее простую технологию производства труб и кожухов стволов, так как на них нет резьбы для соединения с казенником.

Для сборки стволов с казенниками, имеющими муфты, не требуется больших усилий. Кроме того, производить такую сборку удобно, так как исключается необходимость вращать казенник, который зачастую бывает больших размеров и связан с рядом деталей затвора и других механизмов.

Путем перемещения муфты можно выбрать любой зазор между казенным срезом трубы и передней плоскостью клина или поршня независимо от начала резьбы на казеннике.

Это относится к муфте, к которой не крепятся штоки противооткатных устройств.

Недостатком конструкции казенника с муфтой является необходимость изготовления дополнительных поверхностей сопряжения (муфты с кожухом или трубой). Увеличение числа поверхностей сопряжения, если не применять специальных стопоров, способствует увеличению качки ствола в казеннике.

Ввинтной казенник выгодно применять для крупнокалиберных орудий с поршневыми затворами. Зазоры между кожухом и ввинтным казенником не влияют на качку трубы ствола.

При ввинтном казеннике сила $P_{\text{дно}}$, передаваемая через затвор на витки поршня, далее передается через наружные сплошные витки ввинтного казенника на кожух (или другой слой ствола). Этим обеспечивается резкое уменьшение удельной нагрузки наружных витков казенника и слоя, в который ввинчен казенник (см. рис. 59).

Все это позволяет изготовлять кожух (или другой слой, в котором находится казенник) из металла, предел упругости которого меньше предела упругости металла поршня и казенника.

Недостатком конструкции ввинтного казенника является необходимость делать резьбу для него в кожухе или другом слое, в котором помещается казенник. Усложняется также обтюрация газов.

Иногда казенником называют деталь, навинчиваемую или надеваемую с натяжением на кожух для получения большой массы откатных частей, для уравновешивания качающейся части орудия и для соединения ствола с подвижными дета-

лями противооткатных устройств. Правильнее было бы такую деталь называть не казенником, а наружным казенным кольцом, так как у казенника должно быть затворное гнездо.

§ 4. НАЗНАЧЕНИЕ ЗАТВОРОВ И ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К НИМ ТРЕБОВАНИЯ

Основное назначение затворов — надежно запирать канал ствола во время выстрела. Кроме того, затворы служат для воспламенения боевого заряда (ударным или электрическим способом), а также для выбрасывания стреляных гильз.

Основными механизмами затвора являются: запирающий механизм, ударный (или стреляющий) и выбрасывающий.

К затвору относятся также механизмы автоматизации операций открывания и закрывания затвора и различные предохранители.

Главные требования, предъявляемые к затвору, следующие:

1. Надежность запирания канала ствола при выстреле и полное исключение возможности самооткрывания при выстреле под действием давления пороховых газов.

2. Безотказность действия обтюрирующих устройств при всех боевых условиях эксплуатации системы.

3. Большой запас прочности, устраняющий опасность разрушения деталей затвора даже при самых больших возможных выскоках давлений газов в канале ствола.

4. Простота и легкость в обращении (возможность работать вручную) без необходимости производить сложные движения при открывании и закрывании затвора, а также при взведении и спуске ударника. Взведение ударника должно производиться и без открывания (хотя бы частичного) затвора, чтобы исключалась необходимость поворачивать рукоятку затвора.

5. Безопасность в эксплуатации, достигаемая наличием специальных предохранительных механизмов, исключающих возможность производства выстрела до момента полного закрывания затвора, а также открывания затвора после спуска ударника до конца выстрела и т. п.

6. Возможность вести стрельбу с большой скорострельностью.

7. Быстрота и легкость изготовления деталей; взаимозаменяемость деталей и возможность ремонта их с применением передовых способов обработки.

§ 5. ОСНОВНЫЕ ТИПЫ ЗАТВОРОВ

Тип затвора определяется принципом запирания канала ствола и формой основной детали запирающего механизма затвора.

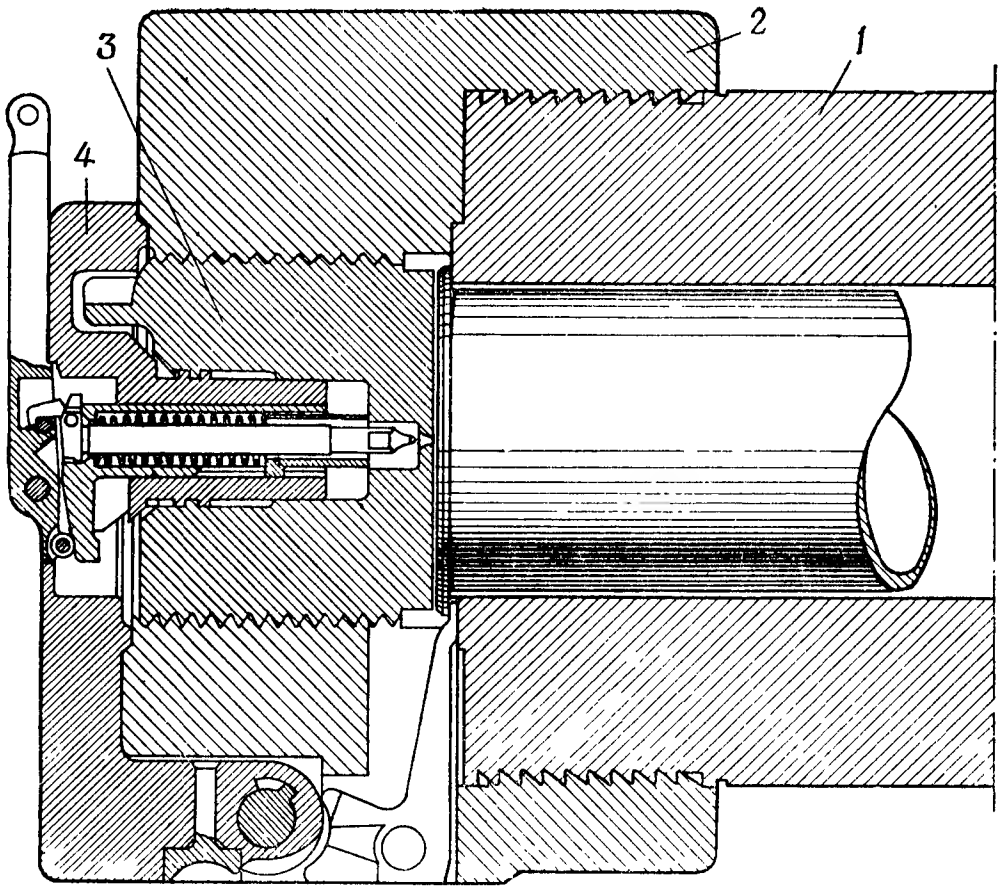


Рис. 57. Разрез казенной части ствола с поршневым затвором:
1 — труба; *2* — казенник; *3* — поршень затвора; *4* — рама затвора

Затворы делятся на два типа: поршневые и клиновые (рис. 57 и 58).

Поршневые затворы в свою очередь делятся на две группы в соответствии с видами заряжания и обтюрации:

а) затворы для гильзового заряжания (рис. 57) и

б) затворы для безгильзового заряжания (рис. 59).

Клиновые затворы приспособлены для гильзового заряжания. Старые системы (например, обр. 1877 г.) имели клиновые затворы, приспособленные к безгильзовому заряжанию. Такие затворы имели специальное обтюрирующее металлическое кольцо, помещаемое в стволе перед клином. При выстреле под действием

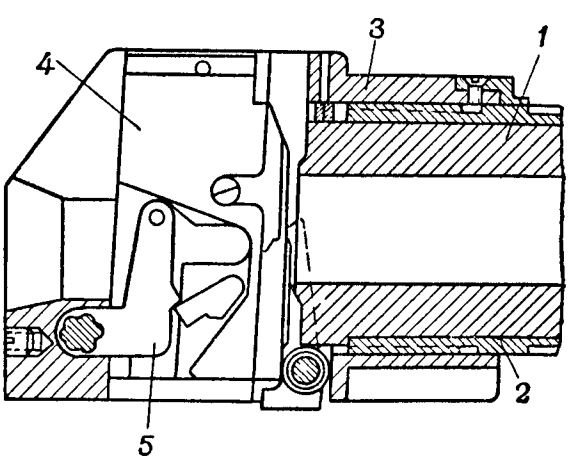


Рис. 58. Разрез казенной части ствола с клиновым затвором:
1 — труба; *2* — муфта; *3* — казенник; *4* — клин; *5* — кривошип

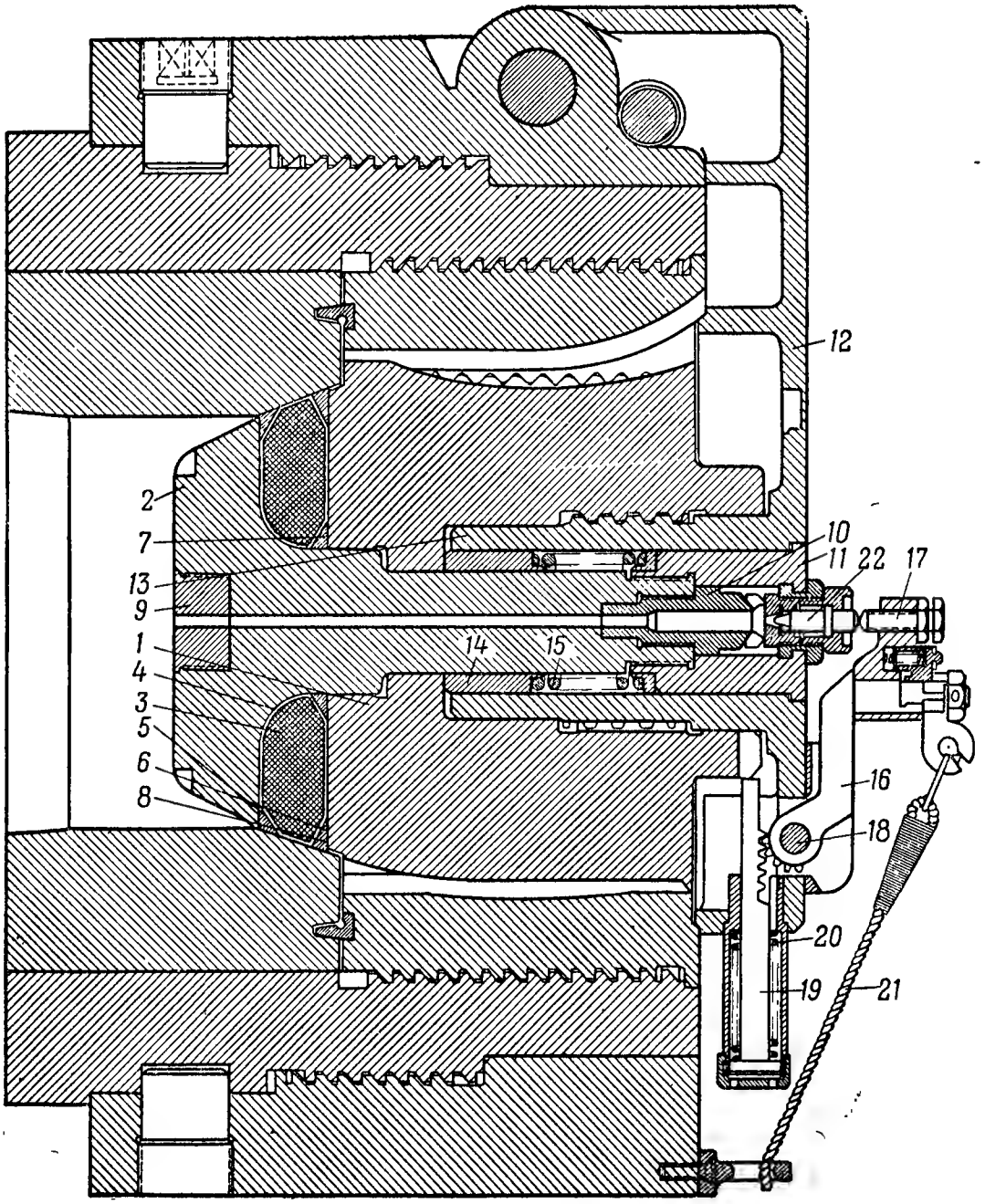


Рис. 59. Горизонтальный разрез казенной части ствола с поршневым затвором с пластическим обтюратором:

1 — поршень затвора; *2* — грибовидный стержень; *3* — асбестовая подушка обтюратора; *4* — чашка обтюратора; *5* — переднее обтюраторное кольцо; *6* — заднее обтюраторное кольцо; *7* — внутреннее кольцо обтюратора; *8* — диск; *9* — передняя втулка грибовидного стержня; *10* — задняя втулка грибовидного стержня; *11* — коробка стреляющего механизма; *12* — рама затвора; *13* — патрубок рамы затвора; *14* — втулка; *15* — пружина; *16* — молоток; *17* — боек молотка; *18* — ось молотка; *19* — рейка; *20* — боевая пружина; *21* — спусковой шнур; *22* — ударник

пороховых газов кольцо прижималось к клину и плотно закупоривало все зазоры между клином и казенной частью трубы.

В зависимости от направления движения клина при открывании и закрывании затвора клиновые затворы делятся на вертикальные и горизонтальные.

По степени автоматизации операций открывания, закрывания, перезаряжания и производства выстрелов затворы делятся на три группы:

а) неавтоматические — все операции производятся вручную;

б) полуавтоматические — автоматизирована только часть указанных операций;

в) автоматические — все операции открывания, перезаряжания, закрывания затвора и производства выстрела автоматизированы.

Наиболее легко автоматизировать затворы клиновые, применяя для этого кривошипную связь.

§ 6. ОСОБЕННОСТИ УСТРОЙСТВА ПОРШНЕВЫХ ЗАТВОРОВ

Для быстроты открывания и закрывания затвора поршень затвора и затворное гнездо казенника имеют несплошные витки нарезов. Это позволяет при открывании и закрывании затвора перемещать поршень, не поворачивая его вокруг оси.

У орудий среднего калибра на поршне, как правило, делают всего четыре сектора — два нарезных и два гладких. Это обеспечивает возможность получить полное сцепление витков поршня и казенника при повороте поршня вокруг его оси на 90°. При сплошных витках пришлось бы поршень поворачивать на число оборотов, равное числу витков.

При наличии гладких секторов рабочие поверхности витков уменьшаются. В крупнокалиберных орудиях для уменьшения угла поворота поршня при запирании или отпирании затвора делают не четыре сектора, а больше (восемь, двенадцать и т. д.).

У некоторых крупнокалиберных орудий с массивными затворами контур поперечного сечения поршня имеет ступенчатую форму. Это делается для уменьшения суммарной поверхности гладких секторов и облегчения процесса отпирания и запирания затвора. В этом случае каждому гладкому сектору соответствуют два-три нарезных сектора различных радиусов; углы всех секторов одинаковые (приближенно).

Полное запирание или отпирание затвора при ступенчатой и неступенчатой форме поршня происходит при повороте поршня на угол, равный $\frac{360°}{n}$, где n — число всех секторов. Например, при двенадцати секторах поршень для запирания или отпирания необходимо повернуть на $\frac{360°}{12} = 30°$.

Ступенчатые затворы сложны в производстве, поэтому лучше идти по пути применения материала более высокого качества или увеличения размеров поршня.

Чтобы поршень не мог получать вращательного движения под действием силы $P_{дно}$ во время выстрела, угол подъема винтовой линии витков поршня должен быть около 1°.

Применение витков на поршне с подъемом винтовой линии обеспечивает ход поршня вперед относительно рамы затвора при запирании затвора и отход его назад при отпирании.

Эти перемещения поршня выгодны с точки зрения лучшей обтюрации газов в каморе и облегчения работы с затвором.

В зависимости от числа основных перемещений поршня при открывании и закрывании затвора поршневые затворы делятся на двухтактные и трехтактные.

Поршневые затворы полевых орудий в своем большинстве являются двухтактными.

В двухтактных затворах в одном такте (отпирание или запирание) поршень поворачивается в раме без перемещения рамы, в другом такте (открывание или закрывание) поршень с рамой затвора как одно целое поворачиваются вокруг оси рамы (оси рукоятки затвора).

Двухтактные затворы по конструкции проще, чем трехтактные. Они обеспечивают бо́льшую скорострельность, но сложны в производстве. Наружная боковая поверхность поршня и внутренняя поверхность поршневого гнезда казенника должны иметь очертания, обеспечивающие возможность вращения всего затвора вокруг оси рукоятки с самого начала открывания затвора. Изготовление поршня и казенника с такими поверхностями возможно с применением сложных приспособлений.

В трехтактном поршневом затворе, применяемом у орудий большой мощности (при тяжелом затворе), поршень имеет следующие перемещения, определяющие собой число тактов:

1. Поворот поршня вокруг его оси без перемещения рамы затвора (отпирание или запирание канала ствола).

2. Перемещение поршня вдоль оси канала ствола (вывод поршня из затворного гнезда казенника или ввод его) без перемещения рамы затвора.

3. Поворот поршня вместе с рамой затвора вокруг оси рамы затвора (открывание или закрывание канала ствола для выбрасывания гильзы или для заряжания). Угол поворота рамы у трехтактного затвора значительно меньше, чем у двухтактного, где нет поступательного перемещения поршня относительно рамы. Поэтому на открывание или закрывание трехтактного затвора требуется меньше усилий, чем на открывание или закрывание двухтактного.

Производство затворного гнезда и наружной поверхности поршня для трехтактного затвора проще, чем для двухтактного, но зато требуются дополнительные устройства для перемещения поршня вдоль оси канала ствола во втором такте.

§ 7. ОСОБЕННОСТИ УСТРОЙСТВА КЛИНОВЫХ ЗАТВОРОВ

Передняя грань клина делается перпендикулярной к оси канала ствола, чтобы обеспечить полное прилегание дна гильзы к затвору, когда он бывает заперт (рис. 58).

Опорная поверхность клина, через которую передается сила $P_{\text{дно}}$ от клина к казеннику, делается наклонной по отношению к передней плоскости клина. Наклон необходим для удобства работы клина при открывании и закрывании затвора.

Угол наклона опорной поверхности клина к передней его плоскости делают малым (около 1°), чтобы устранить возможность самооткрывания затвора при выстреле.

Составляющая силы $P_{\text{дно}}$, стремящаяся продвинуть клин и тем самым открыть затвор, равна $P_{\text{дно}} \cdot \sin\alpha$, где α — угол наклона опорной поверхности клина к передней плоскости клина.

Сила, препятствующая перемещению клина, равна

$$fP_{\text{дно}} \cos\alpha \approx fP_{\text{дно}}.$$

Условием самоторможения клина является

$$fP_{\text{дно}} \cos\alpha > P_{\text{дно}} \sin\alpha$$

или

$$\operatorname{tg}\alpha < f,$$

где f — коэффициент трения.

Поверхности скольжения клина и казенника имеют высокую чистоту обработки и, кроме того, всегда смазаны, поэтому $f < 0{,}05$.

Учитывая исключительную важность надежности запирания, берут $\operatorname{tg}\alpha \approx 0{,}02$ и не более 0,025. Помимо этого, клин фиксируется в запертом положении с помощью кривошипного механизма.

Запирание клинового затвора с помощью кривошипного механизма происходит на последнем участке поворота кривошипа после закрывания затвора. Кривошип своим роликом скользит по дуговому пазу клина и в конце хода занимает положение, близкое к мертвой точке кривошипной передачи.

Для обратного перемещения клина (для открывания затвора) необходимо сначала повернуть кривошип, пока он не выйдет из дугового участка паза на клине (происходит отпирание затвора).

Если масса затвора велика, то для работы вручную удобнее пользоваться клиновым затвором с горизонтальным перемещением клина. При горизонтальном перемещении клина приходится преодолевать только силу трения ($fQ_{\text{клина}}$) и не требуется производить работу по подъему клина. Поэтому крупнокалиберные системы имеют не поршневые, а клиновые затворы с горизонтальным ходом клина.

У поршневого затвора только при горизонтальном положении оси ствола, т. е. при угле возвышения 0°, центр тяжести затвора при открывании и закрывании остается в горизонтальной плоскости, при других же углах возвышения центр тяжести затвора перемещается в вертикальной плоскости, вследствие чего требуется дополнительная работа на перемещение затвора. В этом случае с увеличением угла возвышения усилие на рукоятке поршневого затвора при закрывании его увеличивается. У клинового затвора этого явления нет.

§ 8. ОЦЕНКА РАЗЛИЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЗАТВОРОВ

Поршневые и клиновые затворы впервые были созданы в России. В Артиллерийском историческом музее хранятся пищали XVII в. с затворами клинового и поршневого типа. Русские пищали с клиновыми затворами участвовали в боях за два с половиною века до того времени, когда фирмой Крупп в Германии был «изобретен» клиновой затвор. Первые орудия с затворами на Руси были изготовлены в XVI в. В русской артиллерии XIX в. имели широкое распространение и клиновые и поршневые затворы. В начале XX в. основным затвором в русской артиллерии стал поршневой.

С развитием автоматизации работы затвора (в первую очередь открывания и закрывания) вновь стал широко распространяться клиновой затвор, так как он оказался наиболее удобным для автоматизации.

Почти все современные зенитные, танковые, противотанковые и дивизионные пушки (почти всех армий) имеют клиновые полуавтоматические или автоматические затворы.

Для орудий с гильзовым заряжанием при необходимости автоматизировать работу затворов наиболее рациональной следует признать конструкцию клинового затвора.

Для орудий с безгильзовым заряжанием лучшей следует считать конструкцию поршневого затвора, так как для клинового затвора нет сравнительно простой и безотказной схемы обтюратора. Для всех поршневых затворов следует применять резьбу упорную, не вызывающую появления радиальных сил, стремящихся разорвать казенник.

§ 9. ОБ ОСНОВНЫХ ПРОВЕРОЧНЫХ РАСЧЕТАХ ЗАТВОРОВ НА ПРОЧНОСТЬ

Наиболее важно проверить прочность поршня и клина как основных запирающих деталей.

У поршня проверяется прочность витков резьбы на изгиб, смятие и срез по общим формулам расчета резьбовых соединений с учетом, что половина витков срезана. При этом расчетная сила будет

$$P_{\text{дно}} = P_{\max} S_{\text{дна}}.$$

Коэффициент запаса прочности — не менее 2,0 по пределу упругости.

Клин проверяется на изгиб, срез и смятие. Главная проверка — на изгиб. Расчетная сила

$$P_{\text{дно}} = P_{\max} S_{\text{дна}}.$$

На изгиб клин проверяется по среднему сечению, в котором он обычно сильно ослабляется различными вырезами.

Примем следующие обозначения (рис. 60): l — расстояние между срединами опорных поверхностей щек; k — толщина клина в направлении оси канала ствола; h — ширина клина в направлении, параллельном опорам клина на щеках казенника.

Будем считать, что за счет вырезов момент сопротивления клина изгибу ($W_{\text{клина}}$) уменьшается на 50%, т. е. принимаем

$$W_{\text{клина}} = \frac{hk^2}{12}.$$

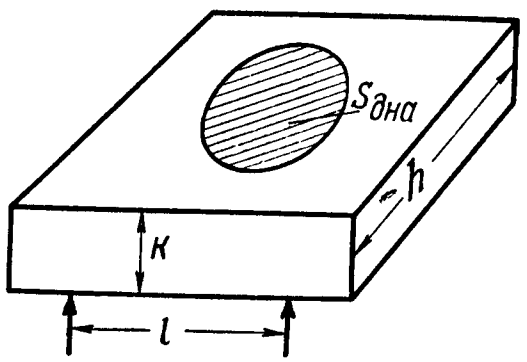


Рис. 60. Схема размеров клина

Изгибающий момент при равномерно распределенной нагрузке равен

$$M_{\text{клина}} = \frac{P_{\text{дно}} \cdot l}{8} = \frac{P_{\max} S_{\text{дна}} l}{8},$$

поэтому

$$\sigma_{\text{изг}} = \frac{M_{\text{клина}}}{W_{\text{клина}}} = \frac{3P_{\max} S_{\text{дна}} l}{2hk^2}.$$

Должно быть

$$\sigma_{\text{изг}} < \frac{\sigma_e}{2 \div 3}.$$

§ 10. ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ПЛАСТИЧЕСКОГО ОБТЮРАТОРА ДЛЯ ПОРШНЕВЫХ ЗАТВОРОВ ПРИ БЕЗГИЛЬЗОВОМ ЗАРЯЖАНИИ

Основной частью обтюратора является особая кольцевая подушка, в которой при выстреле возникают давления, превосходящие давления газов в канале ствола. Подушка передает давление во все стороны, как жидкая среда, и препятствует тем самым прониканию газов поверх подушки — в зазоры между ней и внутренней поверхностью ствола. Еще до выстрела эти зазоры выбираются при досылании поршня с по-

душкой в крайнее переднее положение, при этом происходит некоторое поджатие подушки (см. рис. 59).

Необходимая разность давлений достигается благодаря применению грибовидного стержня, являющегося промежуточным элементом между газами и подушкой. На грибовидный стержень с одной стороны (спереди) давят газы, а с другой стороны (сзади) передается давление (реакция) со стороны подушки (рис. 61). По принципу равенства действия и противодействия между этими давлениями существует зависимость:

$$PS_{\text{дна}} = P_{\text{п}} S_{\text{п}},$$

где $S_{\text{дна}}$ — площадь дна каморы;
$P_{\text{п}}$ — давление в подушке (действие упругих сил);
$S_{\text{п}}$ — опорная площадь (кольцевая) подушки, на которую давит головка стержня.

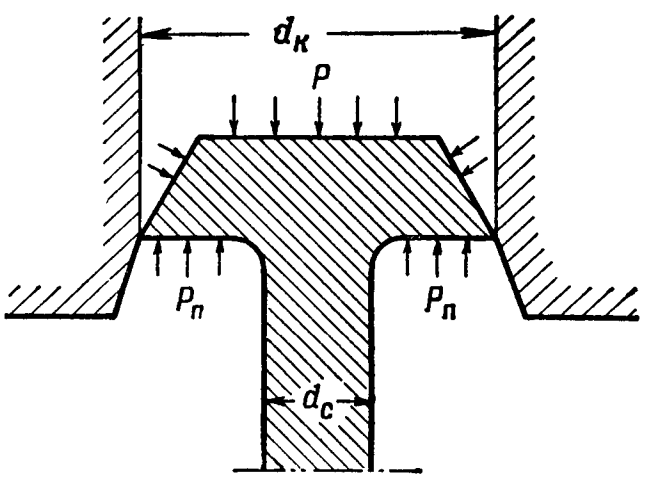


Рис. 61. Равновесие грибовидного стержня

Зависимость между давлениями иначе можно выразить так:

$$P_{\text{п}} = P\frac{S_{\text{дна}}}{S_{\text{п}}} = P\frac{\pi d_{\text{к}}^2}{\pi\left(d_{\text{к}}^2 - d_{\text{с}}^2\right)} = P\frac{1}{1-\left(\frac{d_{\text{с}}}{d_{\text{к}}}\right)^2},$$

где $d_{\text{с}}$ — диаметр стержня в районе подушки;
$d_{\text{к}}$ — диаметр дна каморы.

Для надежной обтюрации необходимо, чтобы $P_{\text{п}}$ было больше P примерно на 10—15%, т. е. чтобы

$$P_{\text{п}} = (1{,}1 \div 1{,}15)\cdot P.$$

Это обеспечивается подбором диаметров ($d_{\text{с}}$ и $d_{\text{к}}$), а именно:

$$\frac{d_{\text{к}}}{d_{\text{с}}} \approx \frac{3}{1}.$$

Подушка обтюратора может быть каучуковая. Она может состоять также из смеси асбеста (65%) с бараньим жиром (35%). Асбестовые волокна являются своеобразной решеткой, все свободное пространство которой заполнено жировой массой, способной передавать давление во все стороны подобно жидкости. Мелкие волокна асбеста обладают замечательным свойством удерживать равномерно распределенными частицы жировой массы и совершенно не разрушаются от высоких давлений и температур.

Смесь асбеста с жиром помещается в холщовую оболочку. Предварительно смесь подвергается прессованию давлением, превышающим на 20% максимальное давление газов в стволе, для которого готовят обтюратор. Это прессование обеспечивает небольшую деформацию во время выстрела, что необходимо для надежной работы обтюратора с самого начала выстрела.

Для предохранения подушки от разрушения во время выстрела применяют стальные кольца, исключающие возможность проникания материала подушки в зазоры между другими деталями.

При хорошем обтюраторе требуется усилие двух рук на рукоятке затвора в конце запирания затвора; это усилие должно сохраняться примерно постоянным во все время стрельбы и не должно зависеть от атмосферно-температурных условий.

Обычно основные размеры обтюраторной подушки, грибовидного стержня и горловины каморы устанавливаются на основе опыта.

Высота головки стержня должна быть проверена на прочность, чтобы не получилось срезания шляпки стержня. Проверку на прочность следует производить, пользуясь формулой

$$\tau = \frac{P_{max}\pi d_c^2}{4 \cdot \pi d_c k} = \frac{P_{max} d_c}{4k},$$

где k — высота головки.

Величина τ должна быть не более $\frac{\sigma_e}{4 \div 6}$.

Для удовлетворения этого требования целесообразно грибовидный стержень делать из более высококачественного металла, чем поршень.

Нарезка на конце стержня и наименьшая толщина стержня должны быть рассчитаны на ударную нагрузку при спаде давления газов.

Из-за инерции стержня движение его вперед при спаде давления в канале ствола отстает от положения, при котором должно быть непрерывное равенство сил действия газов и упру-

гих сил подушки. Поэтому при спаде давления будет иметь место неравенство

$$P_{\text{п}}S_{\text{п}} > PS_{\text{дна}}.$$

Особенно резко возрастает разность этих сил после вылета снаряда.

Можно ориентировочно принять, что живая сила обтюратора A_0, с которой он стремится вырваться вперед, равна

$$A_0 = \frac{P_{\partial}S_{\text{дна}}x_0}{2},$$

где P_{∂} — давление в канале ствола в момент вылета;

x_0 — ход стержня за счет деформации подушки.

Можно принять $x_0 = 0{,}2$—$0{,}3$ *мм*. Коэффициентом $\frac{1}{2}$ учитывается, что упругие силы меняются по прямой линии до нуля.

Расчетная формула имеет следующий вид:

$$A_{\text{у}} = \frac{A_0}{F_{\min}},$$

где $A_{\text{у}}$ — удельная ударная нагрузка на 1 *см*^{2} наименьшего поперечного сечения стержня или площади оснований всех витков нарезки на стержне, находящихся в зацеплении с витками коробки *11* (см. рис. 59);

$F_{\min}$ — наименьшая площадь поперечного сечения стержня или площади оснований всех витков нарезки на стержне, находящихся в зацеплении с витками коробки *11*.

При расчетах необходимо брать величину $F_{\min}$, меньшую из двух значений

$$F_{I,\ \min} = \frac{\pi}{4} d^2_{\min},$$

$$F_{II,\ \min} = n\pi d_{\text{в}} z,$$

где n — число витков, находящихся в зацеплении (целых, приводимых к 360°);

z — толщина витка нарезки;

$d_{\text{в}}$ — внутренний диаметр нарезки стержня.

Для надежной прочности должно быть

$$A_{\text{у}} < 2\ \frac{кгм}{см^2},$$

если неизвестно значение коэффициента ударной вязкости данного металла.

Пример. Дана система с размерами: $d_{\text{к}} = 230$ *мм*; $d_{\min} = 60$ *мм*. Величина $P_{\partial} = 600$ *кг/см*^{2}.

Число нарезов витков нарезки $n = 8$. Толщина витка нарезки $z = 0{,}4$ *см*; $d_{\text{в}} = 60$ *мм*; $x_0 = 0{,}3$ *мм* $= 0{,}0003$ *м*.

Определить ударную нагрузку $A_у$.
Рабочие формулы и вычисления:

$$A_0 = \frac{P_\partial S_{дна} x_0}{2} = \frac{600 \cdot \frac{\pi}{4} 23^2 \cdot 0{,}0003}{2} = 38 \text{ кгм};$$

$$F_{I,\min} = \frac{\pi}{4} d^2_{\min} = \frac{\pi}{4} \cdot 6^2 = 28 \text{ см}^2;$$

$$F_{II,\min} = n\pi d_в z = 8 \cdot 3{,}14 \cdot 6 \cdot 0{,}4 = 56{,}3 \text{ см}^2;$$

$$A_у = \frac{A_0}{F_{\min}} = \frac{38}{28} = 1{,}36 \text{ кгм/см}^2.$$

Приведенный пример показывает, какое большое значение имеет ударная нагрузка даже при перемещении стержня на десятые доли миллиметра. Отсюда безусловно важным является требование, чтобы подушка обтюратора имела малые деформации при выстреле.

ГЛАВА IX

ПОЛУАВТОМАТИЧЕСКИЕ ЗАТВОРЫ

§ 1. ОПРЕДЕЛЕНИЯ. ОСНОВНЫЕ МЕХАНИЗМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ РАБОТЫ ЗАТВОРОВ. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ. КЛАССИФИКАЦИЯ ПОЛУАВТОМАТИК

Полуавтоматические затворы впервые стали применять в морской и зенитной артиллерии.

Полуавтоматическим затвором называется затвор, снабженный дополнительными механизмами, автоматически выполняющими открывание (с выбрасыванием гильзы) и закрывание затвора или только одну из этих операций. Комплекс указанных дополнительных механизмов называется полуавтоматикой затвора.

К основным механизмам полуавтоматики затворов относятся:

а) механизмы автоматического открывания затвора;

б) механизмы автоматического закрывания затвора;

в) приспособления для взведения (сжатия) пружин полуавтоматики.

Открывающий и закрывающий механизмы могут иметь свой аккумулятор энергии в виде пружин. Эти механизмы могут работать и без аккумуляторов с помощью копира (упора) во время движения откатных частей.

Основные требования, предъявляемые к полуавтоматике, следующие:

1. Безотказность работы в любых боевых условиях.
2. Простота обслуживания и устройства.
3. Безопасность в обращении для орудийного расчета.
4. Прочность деталей (невозможность поломок их при тугой экстракции гильзы и неоткрывании затвора).
5. Компактность устройства и размещения механизмов полуавтоматики.
6. Быстрота и простота смены изношенных деталей.
7. Высокая живучесть деталей, позволяющая им выдерживать сотни и тысячи боевых циклов работы.

8. Возможность взведения механизмов вручную без больших усилий.

9. Наличие приспособлений для закрывания затвора без заряжания и для выключения (или включения) механизмов полуавтоматики.

10. Несложность производства деталей; их взаимозаменяемость.

Классификация полуавтоматик. Все механизмы полуавтоматик современных орудий работают за счет энергии откатных частей.

По времени взведения этих механизмов полуавтоматики делятся на три группы:

I группа: оба механизма — открывающий и закрывающий — взводятся при откате (например, полуавтоматика 45-*мм* противотанковой пушки обр. 1937 г.).

II группа: оба механизма — открывающий и закрывающий — взводятся при откате (например, полуавтоматика 57-*мм* противотанковой пушки обр. 1943 г., 76-*мм* пушки обр. 1942 г., самоходных и танковых пушек с клиновыми затворами).

III группа: один механизм взводится при откате, а другой при накате. Например, у 85-*мм* зенитной пушки обр. 1939 г. при откате взводится закрывающий механизм, а при накате — открывающий механизм.

По способу передачи энергии от откатных частей механизмам, выполняющим работу по открыванию и закрыванию затвора, полуавтоматики могут быть следующих видов:

1. Полуавтоматики инерционного действия, у которых для взведения пружин используется инерционное тело, входящее в состав откатных частей. Инерционное тело благодаря своей большой массе успевает за время взведения пружин пройти малый путь и поэтому играет роль как бы неподвижного упора. Взведение происходит при откате.

2. Полуавтоматики механического действия, у которых для взведения пружин или для приведения механизмов сразу в непосредственное действие без пружины используются дополнительные приспособления, установленные на неоткатных частях (копиры, упоры, собачки).

3. Полуавтоматики смешанного действия, у которых взведение одного механизма достигается с помощью инерционного тела, а взведение (или действие) другого механизма — с помощью приспособления, установленного на неоткатных частях (упор). Например, такая полуавтоматика имеется у 85-*мм* зенитной пушки обр. 1939 г.

Примечание. Взведение механизмов полуавтоматических затворов может осуществляться за счет использования энергии пороховых газов,

специально отводимых для этой цели из канала ствола. Такие механизмы, работающие за счет энергии отводимых газов, целесообразно применять в безоткатных системах.

§ 2. ОСНОВНЫЕ СХЕМЫ ПОЛУАВТОМАТИЧЕСКИХ ЗАТВОРОВ НАЗЕМНОЙ АРТИЛЛЕРИИ

Все современные полуавтоматические затворы — клиновые с горизонтальным или вертикальным ходом клина.

Принципиально работа открывающих и закрывающих механизмов всех типов полуавтоматических затворов сводится к вращению оси кривошипного механизма, на которой насажен один или два кривошипа, связанных с клином, играющим роль ползуна. При наличии двух кривошипов устраняется перекос вертикального клина.

Во всех затворах после их открывания клин стопорится при помощи зацепов лапок выбрасывателя. При заряжании лапки выбрасывателя поворачиваются вперед от удара по ним закраиной дна гильзы и освобождают клин.

В нижеприведенных схемах работы механизмов полуавтоматических затворов указывается, когда и как происходит взведение этих механизмов, в какой момент начинается открывание затвора, не представляет ли опасность (для деталей затвора) случайное заклинивание клина в его гнезде (в запертом положении).

А. Полуавтоматический затвор 45-*мм* противотанковой пушки обр. 1937 г.

Полуавтоматика затвора этой пушки инерционного типа (рис. 62).

Основными деталями полуавтоматики (см. I положение — рис. 62) являются прикрепленный к стволу корпус *1*, в котором собраны открывающая *2* (большого диаметра) и закрывающая *3* (малого диаметра) пружины, шток *4* с надетой на него закрывающей пружиной, инерционное тело *5*, представляющее собой полый цилиндр, на передний конец которого навинчен массивный наконечник *6*. Внутри инерционного тела на поперечной оси *7* поставлена внутренняя собачка *8*. Задний конец штока через серьгу *9* шарнирно связан с рукоятkой *10*. Рукоятка насажена на конец горизонтальной оси *11* кривошипного механизма и является звеном кинематической цепи полуавтоматики.

При откате массивное инерционное тело, стремясь остаться на месте, сжимает обе пружины полуавтоматики (наружная пружина задним своим концом упирается в бурт инерционного тела, а внутренняя пружина своим задним концом упирается в гайку *12* инерционного тела).

Во время сжатия пружин передние концы пружин остаются

неподвижными относительно корпуса полуавтоматики, т. е. откатываются вместе с корпусом.

В конце сжатия пружин (см. II положение — рис. 62) при длине отката 60 *мм* инерционное тело стопорится неподвижно относительно корпуса полуавтоматики с помощью наружной собачки *13*, ось *14* которой помещена в проушине корпуса полуавтоматики.

В таком положении механизмы полуавтоматики остаются в продолжение всего отката и в начале наката.

Для исключения возможности свободного перемещения инерционого тела *5* относительно штока *4* до момента закрывания затвора служит внутренняя собачка *8*.

При откате задний упор *15* на люльке под действием толчка заднего плеча собачки *13* отклоняется назад (упор может качаться только назад по часовой стрелке от нормального положения) и не вызывает расцепления собачки *13* и инерционного тела *5*.

При накате (см. III положение — рис. 62) задний упор *15*, нажимая на собачку *13*, поворачивает ее передним концом вниз, благодаря чему освобождается инерционное тело *5*.

Наружная (открывающая) пружина *2* толкает инерционное тело назад, которое через внутреннюю собачку *8* увлекает за собой шток полуавтоматики, а последний через серьгу *9* и рукоятку *10* затвора вращает ось *11* кривошипного механизма, чем и достигается открывание затвора (см. IV положение — рис. 62).

Открывание затвора заканчивается до конца наката. В конце наката передний упор *16*, нажимая на нижнюю грань изогнутого переднего конца собачки *8*, ставит ее параллельно оси штока; тем самым освобождается путь штока вперед. При открытом затворе закрывающая пружина *3* удерживается в сжатом положении с помощью лапок экстрактора, которые своими зацепами препятствуют подъему клина.

Застопоренный клин удерживает кривошипный механизм, а через него шток полуавтоматики в отведенном назад положении. При заряжании орудия патрон закраиной дна гильзы сбивает лапки экстрактора с клина, что дает возможность закрывающей пружине разжиматься. Пружина *3*, разжимаясь, толкает шток *4* вперед, а это вызывает поворот кривошипа и подъем клина.

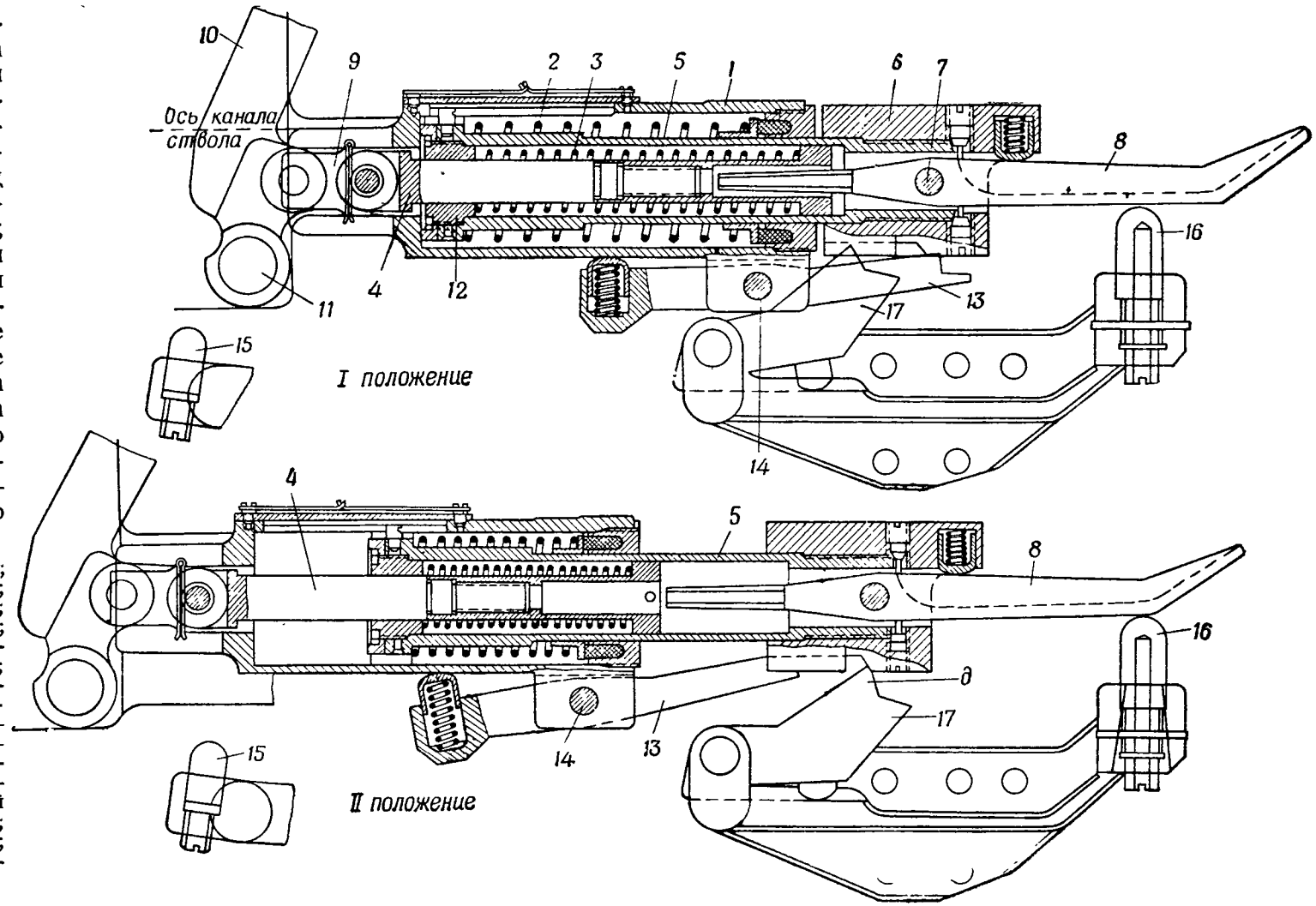
Примечание. Инерционное тело в полуавтоматике 45-*мм* противотанковой пушки обр. 1934 г. и обр. 1937 г. было рассчитано на работу при стрельбе бронебойным снарядом с большим зарядом, вызывающим большое давление газов и большую силу инерции.

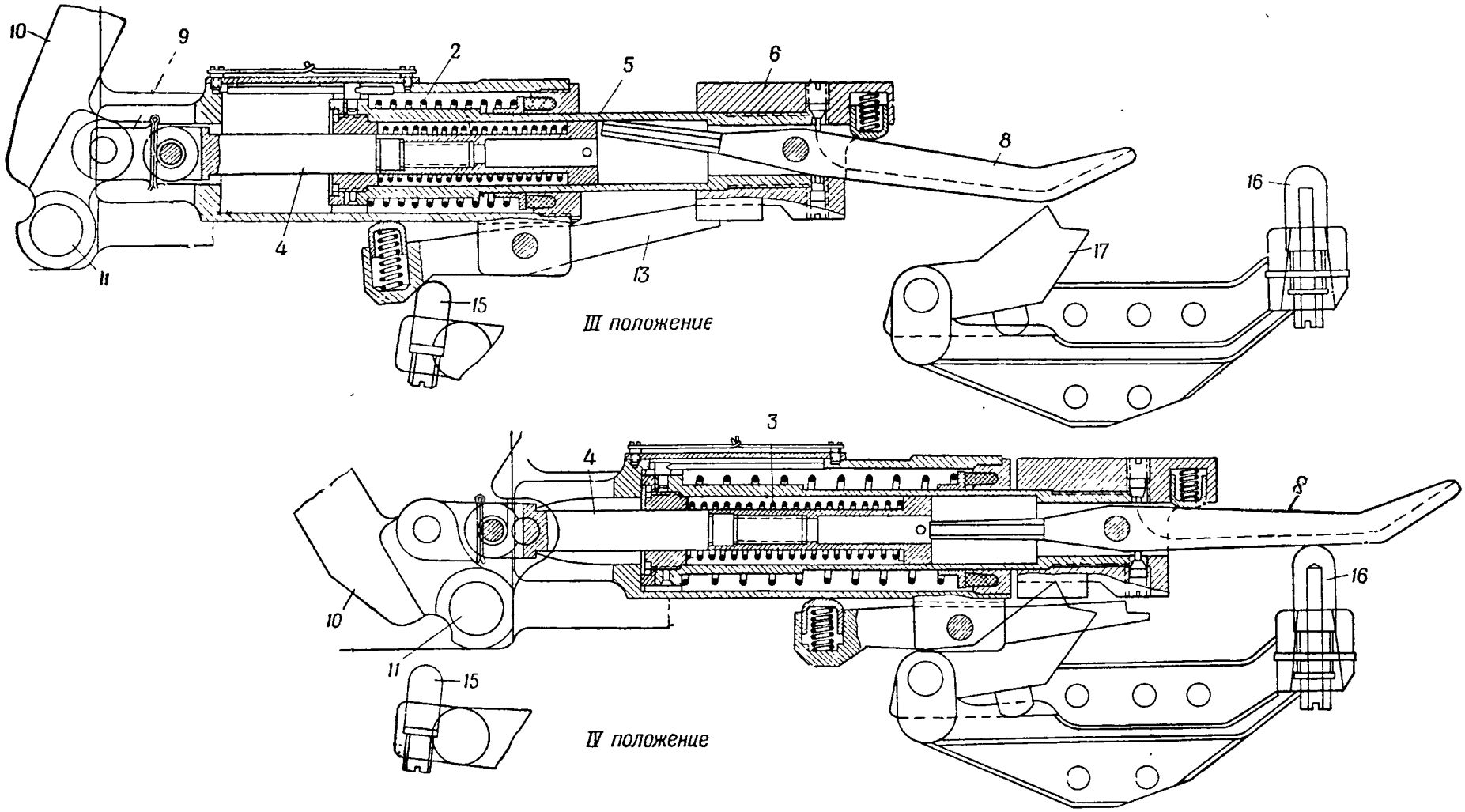
Сила инерции $R_{инер}$ прямо пропорциональна давлению газов в канале ствола и весу инерционного тела ($Q_т$) без учета сопротивления откату:

$$R_{инер} = PS\,\frac{Q_т}{Q_0}.$$

Рис. 62. Полуавтоматика инерционного типа (45-*мм* противотанковой пушки обр. 1937 г.). Показано четыре положения механизмов полуавтоматики: *I* — перед выстрелом; *II* — инерционное тело взведено; сжаты открывающая и закрывающая пружины и наружная собачка застопорила инерционное тело; *III* — выключение наружной собачки на накате (до конца наката 190 *мм*), после чего начнет работать открывающая пружина; *IV* — конец наката, затвор открыт:

1 — корпус полуавтоматики; *2* — открывающая пружина; *3* — закрывающая пружина; *4* — шток полуавтоматики; *5* — инерционное тело; *6* — наконечник инерционного тела; *7* — ось; *8* — внутренняя собачка; *9* — серьга; *10* — рукоятка затвора; *11* — ось кривошипного механизма; *12* — гайка инерционного тела; *13* — наружная собачка; *14* — ось наружной собачки; *15* — задний упор; *16* — передний упор; *17* — дополнительная собачка; *д* — зуб дополнительной собачки




10
9
2
5
6
8
16
4
17
11
13
15
III положение
3
4
8
16
10
11
15
IV положение

При стрельбе же осколочной гранатой с малым зарядом и малым давлением (P) сила инерции оказалась недостаточной для сжатия пружин полуавтоматики. Поэтому для удержания инерционного тела на месте до сжатия им обеих пружин на требуемую величину пришлось поставить на люльке ниже корпуса полуавтоматики дополнительную собачку *17* (см. на рис. 62 зуб *д* дополнительной собачки). Эта собачка освобождает инерционное тело в тот момент, когда на нее нажимает особый упор на откатных частях; упор же этот нажимает на собачку только после того, как пружины будут сжаты на требуемую величину. Наличие дополнительной собачки не исключает инерционного действия тяжелого тела, а только помогает этому телу преодолеть сопротивление пружин и сил трения.

В системах обр. 1934 г. дополнительной собачки не было, и при стрельбе осколочными снарядами приходилось затвор открывать вручную.

Б. Полуавтоматический затвор 76-*мм* пушки обр. 1942 г.

Полуавтоматический затвор 76-*мм* пушки обр. 1942 г. (рис. 63 и 64) имеет полуавтоматику механического типа с копиром, с помощью которого производится открывание затвора при накате с одновременным взведением закрывающей пружины.

Такой же тип затвора установлен на 57-*мм* противотанковой пушке обр. 1943 г., на 85-*мм* танковой пушке обр. 1944 г. и на ряде других пушек.

Основными деталями указанной полуавтоматики являются: кулачок *1* полуавтоматики, насаженный на ось *2* кривошипного механизма; шток, он же нажимной стакан *3* закрывающего механизма, шарнирно связанный с верхним концом кулачка полуавтоматики; закрывающая пружина *4*, входящая задним концом в полость нажимного стакана *3*, а передним концом в упорный стакан *5*, закрепленный на казеннике; копир *6*, укрепленный на люльке. Копир может поворачиваться около вертикальной оси для пропускания цилиндрического отростка кулачка полуавтоматики назад; для этой цели на копире имеется скошенная грань, по которой скользит цилиндрический отросток кулачка полуавтоматики при откате, что и вызывает отклонение копира.

При накате цилиндрический отросток кулачка полуавтоматики набегает на наклонную поверхность копира и поднимается кверху. Подъем цилиндрического отростка сопровождается одновременным поворотом кулачка полуавтоматики. Поворот кулачка вызывает поворот кривошипного механизма с открыванием затвора и подачу штока *3* вперед с сжатием закрывающей пружины *4*. В конце поворота кривошипного механизма клин затвора занимает самое низкое положение, в котором он и удерживается зацепами лапок экстрактора. Стопорение клина является одновременно и стопорением закрывающей пружины в сжатом положении.

При заряжании орудия закраина дна гильзы сбивает лапки экстрактора с клина, после чего закрывающая пружина полу-

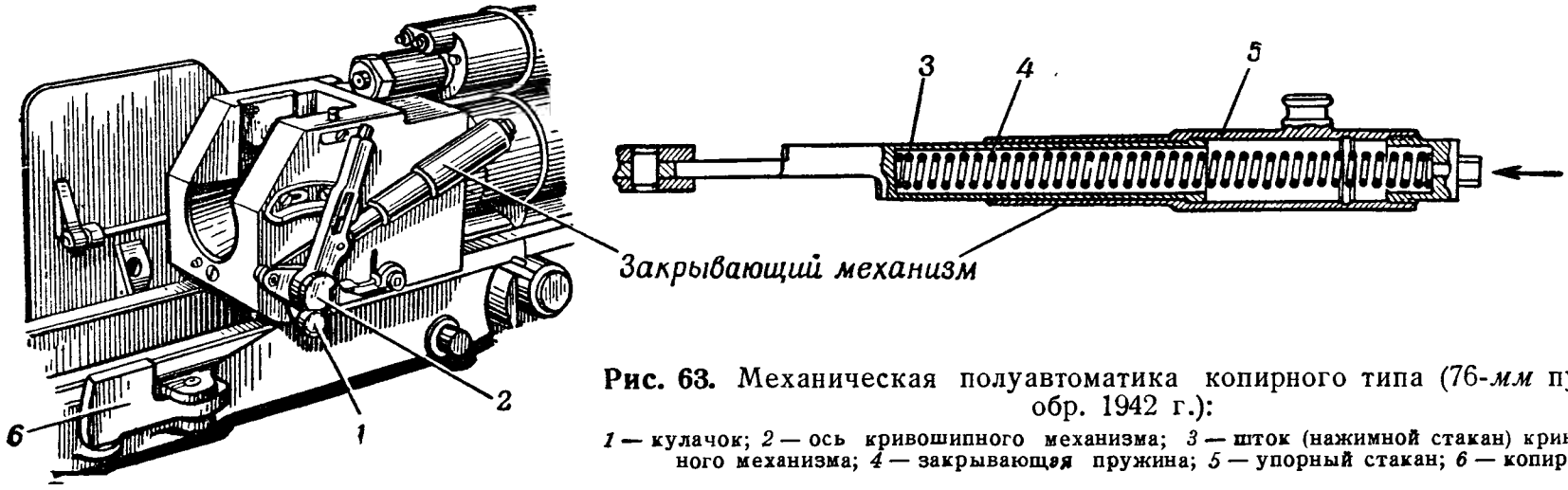


Рис. 63. Механическая полуавтоматика копирного типа (76-*мм* пушка обр. 1942 г.):

1 — кулачок; *2* — ось кривошипного механизма; *3* — шток (нажимной стакан) кривошипного механизма; *4* — закрывающая пружина; *5* — упорный стакан; *6* — копир

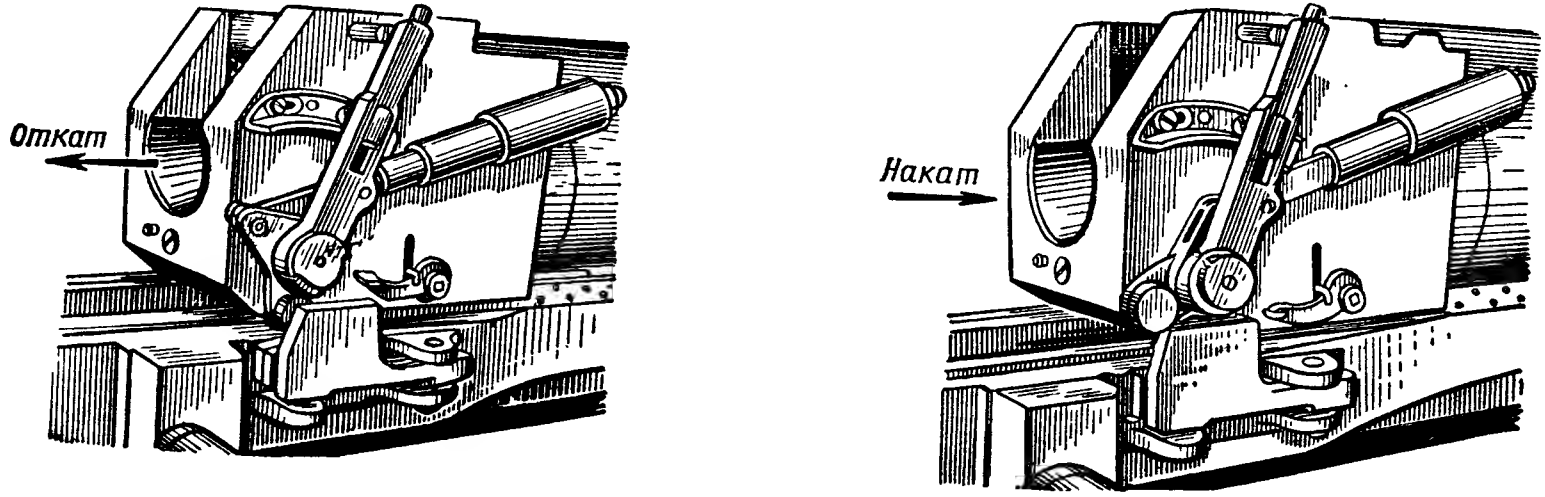


Рис. 64. Действие полуавтоматики копирного типа (см. рис. 63)

чает возможность разжиматься. При этом пружина толкает шток назад, что вызывает поворот кривошипа и закрывание затвора.

Если открыванию затвора будут препятствовать большие сопротивления, вызванные раздутием гильзы или другими причинами, то произойдет недокат ствола. В этом случае остановка ствола может сопровождаться резкими ударами, вызывающими наклеп или даже разрушение металла ролика и копира.

Для исключения возможности ударов, вызывающих поломки деталей, в 76-*мм* пушках обр. 1939 г. копир делался поворачивающимся на горизонтальной оси с пружиной, которая поддерживала копир с определенной силой. Если момент силы нажима кулачка на копир превышал момент силы пружины копира, то эта пружина сжималась и копир опускался, освобождая путь кулачку (без его поворота).

Описанное приспособление делало копир не жестко, а упруго связанным с люлькой во время его работы при накате благодаря тому, что второй конец копира был связан с люлькой через пружину. Такой способ крепления копира исключал возможность поломок деталей даже при неправильном подборе рабочего профиля копира.

Изготовить копир, жестко связанный с люлькой, проще, но при этом требуется точный расчет рабочей поверхности копира, правильное изготовление всех деталей и хороший уход за орудием. Опыт войны показал, что наши конструкторы, производственники и войсковые части полностью освоили конструкцию жесткого копира.

Примечания. 1. Подобная схема полуавтоматики применима и к затвору с горизонтальным ходом клина.

2. В обойменных люльках поворот оси кривошипов производится при помощи упора на люльке, расположенного перед казенником. В этом случае на казеннике помещают особый стержень для передачи сопротивления упора на кулачок кривошипного механизма.

3. Многие иностранные орудия имеют полуавтоматику механического типа.

В. Полуавтоматический затвор 85-*мм* зенитной пушки обр. 1939 г.

Полуавтоматика этого затвора по принципу действия относится к смешанному типу, так как в ней осуществлены инерционный и механический способы взведения пружин.

Инерционное тело при откате взводит закрывающую пружину, а открывающая пружина взводится в конце наката при помощи жесткого упора, поставленного на люльке (рис. 65).

Основными деталями полуавтоматики являются: шток *1* с надетой на него закрывающей пружиной *2* и открывающая пружина *3* со стаканом *4* и направляющим штоком *5*. Откры-

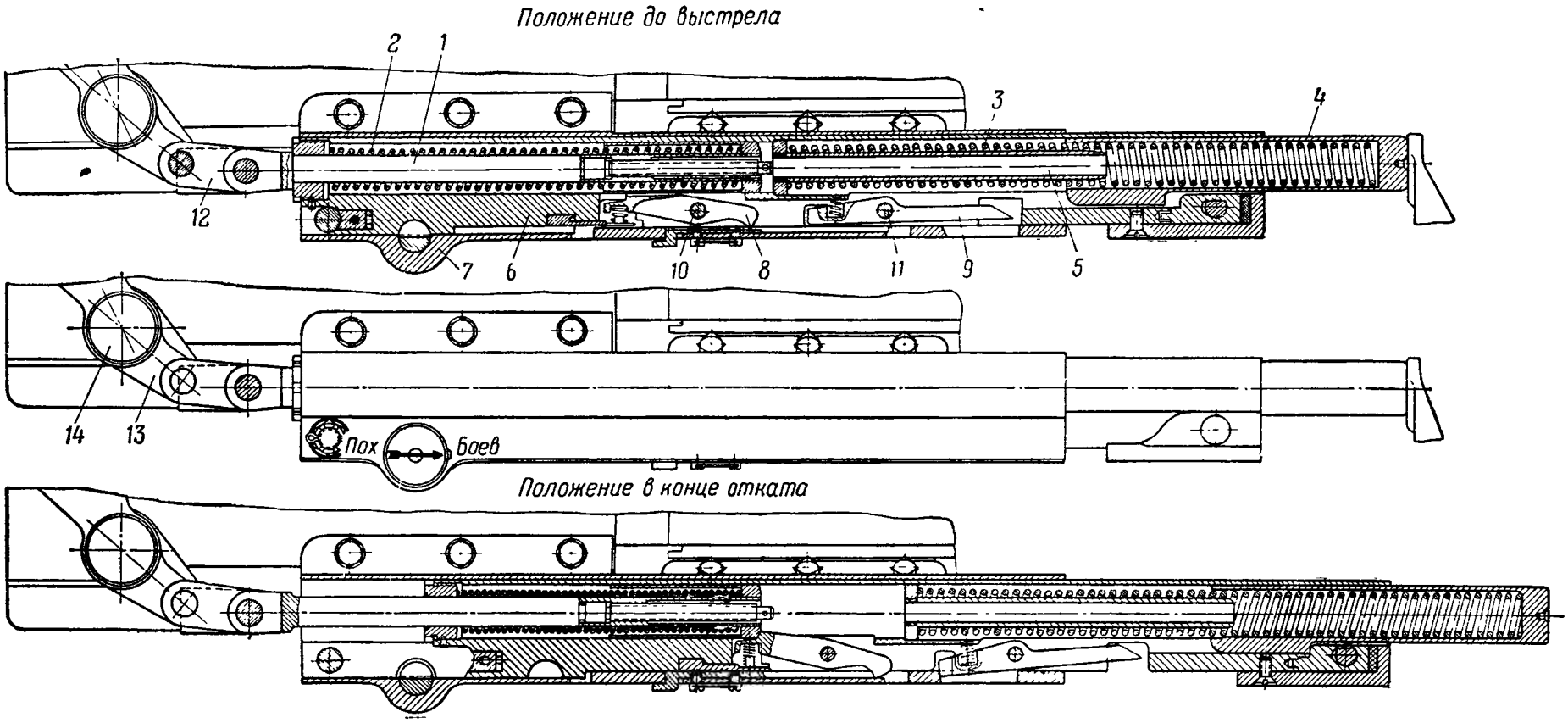


Рис. 65. Полуавтоматика инерционно-механического типа:

1 — шток; *2* — закрывающая пружина; *3* — открывающая пружина; *4* — стакан открывающей пружины; *5* — направляющий шток; *6* — инерционное тело; *7* — короб полуавтоматики; *8* — задняя защелка; *9* — передняя защелка; *10* и *11* — ось защелок; *12* — серьга; *13* — рычаг-мотыль; *14* — ось шарнирного механизма

вающая пружина, стакан и шток *5* помещены в инерционном теле *6*, которое находится в коробе полуавтоматики *7*, прикрепленном к стволу болтами, и может в нем перемещаться.

Внутри инерционного тела имеются две двуплечие защелки *8* и *9* с горизонтальными осями *10* и *11*.

Шток *1* через серьгу *12* связан с рычагом-мотылем *13*, насаженным на ось *14* кривошипного механизма затвора.

При откате инерционное тело, стремясь остаться на месте, сжимает закрывающую пружину. В конце сжатия закрывающей пружины задняя защелка стопорит инерционное тело относительно штока *1*. Открывающая пружина при откате совсем не сжимается. Во взведенном положении инерционное тело с помощью двух защелок удерживается от перемещения вдоль короба полуавтоматики. Передняя защелка своим задним концом упирается в грань выреза в дне короба полуавтоматики и не позволяет инерционному телу идти назад относительно короба. На последнем участке наката упор, закрепленный на люльке, задерживает движение стакана *4* открывающей пружины вперед, что и вызывает сжатие пружины *3*.

В конце наката нижний выступ на стакане открывающей пружины опускает передний конец передней защелки, в результате чего инерционное тело получает возможность свободно двигаться назад под действием открывающей пружины. Инерционное тело через заднюю защелку *8* увлекает за собой шток полуавтоматики, вследствие чего мотыль и весь кривошипный механизм поворачиваются и затвор открывается.

В конце хода инерционного тела назад по коробу полуавтоматики задняя защелка с помощью специальной планки поворачивается вокруг своей оси передним концом кверху, что приводит к расцеплению штока и инерционного тела. Тогда закрывающая пружина пошлет шток вперед и произойдет закрывание затвора, если клин не будет удерживаться лапками экстрактора в нижнем положении.

Рассмотренная полуавтоматика (а также полуавтоматика 45-*мм* противотанковых пушек обр. 1934 г. и обр. 1937 г.) имеет ту особенность, что в ней исключена возможность поломки деталей в случае, если будет затруднено открывание затвора.

Основные недостатки полуавтоматики этого типа — сложная конструкция, нарушение работы при загрязнении и густой смазке деталей и сравнительно быстрое изнашивание концов защелок.

Примечание. В 85-*мм* зенитных пушках обр. 1939 г. более поздних выпусков установлена полуавтоматика механического (копирного) типа (как у 76-*мм* пушки обр. 1942 г.).

ГЛАВА X

ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОМАТИЧЕСКИХ ПУШКАХ

§ 1. КЛАССИФИКАЦИЯ АВТОМАТИЧЕСКИХ ПУШЕК

Пушка называется автоматической, если все операции перезаряжания и выстрела производятся автоматически.

К операциям перезаряжания и выстрела относятся:

а) открывание затвора с экстракцией гильзы;

б) подача очередного патрона в камору;

в) взведение ударника;

г) закрывание затвора;

д) спуск ударника.

Обычно в автоматических пушках для выполнения работы по перезаряжанию используют энергию порохового заряда.

Существует два основных типа автоматических пушек, механизмы автоматики которых работают за счет энергии порохового заряда.

В зависимости от способа использования энергии пороховых газов для работы механизмов автоматики автоматические пушки делятся на два основных типа:

I. Автоматические пушки, в которых используется энергия отката.

II. Автоматические пушки, в которых используется энергия пороховых газов, отводимых специально для этой цели из канала ствола (иначе говоря, системы с отводом газов).

Основное отличие автоматических орудий от полуавтоматических заключается в том, что автоматические орудия имеют дополнительные механизмы: подающие патрон в положение для заряжания, досылающие патрон в патронник ствола, производящие автоматический спуск ударника или включение электротока для воспламенения электрозапала.

Такими дополнительными механизмами являются:

а) механизмы подачи;

б) досылатели;

в) автоматические спусковые механизмы.

В зависимости от направления движения патронов во время подачи различают:

1) горизонтальную подачу;

2) вертикальную подачу;

3) барабанную подачу (с вращением барабана с патронами или патронов в магазине).

По способу соединения патронов в группы, перемещающиеся как одно целое при работе механизмов подачи, различают следующие подачи:

1) магазинную (коробчатую или барабанную);

2) ленточную (сплошную или звеньевую);

3) обоймами;

4) россыпью (патроны вкладываются в приемник по одному).

В зависимости от источника энергии, используемого для работы, различают подачи:

1) работающие за счет энергии отката или газов, отводимых из канала ствола;

2) работающие за счет дополнительных источников энергии (электромоторы, пружинные аккумуляторы, пневматические аккумуляторы).

§ 2. КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МЕХАНИЗМОВ АВТОМАТИКИ МАЛОКАЛИБЕРНОЙ ЗЕНИТНОЙ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ПУШКИ

Малокалиберная зенитная автоматическая пушка (рис. 66) относится к первому основному типу пушек, в которых используется энергия отката для производства всех работ механизмов автоматики.

Затвор пушки — клиновой, вертикального хода. Подача вертикальная, обоймами. Ход ствола короткий, т. е. меньше длины патрона. Открывание затвора производится при помощи копира, а закрывание — при помощи пружины (как у полуавтоматических систем). Досылание очередного патрона в канал ствола производится особым пружинным досылателем *10*, который ведет патрон вперед только на начальном участке его движения в канал ствола, а остальной путь патрон проходит по инерции.

Имеются два спуска: автоматического (непрерывного) огня и одиночного огня. В некоторых орудиях имеется только один спуск — автоматического огня.

Система подачи патронов позволяет вести автоматический огонь с практической скорострельностью, равной темпу огня, так как пополнение магазина *6* новыми обоймами происходит в соответствии с темпом огня. Это обеспечивается неподвижностью магазина и выталкиванием предыдущей обоймы последующей, а также отсутствием каких-либо дополнительных стопорных механизмов.

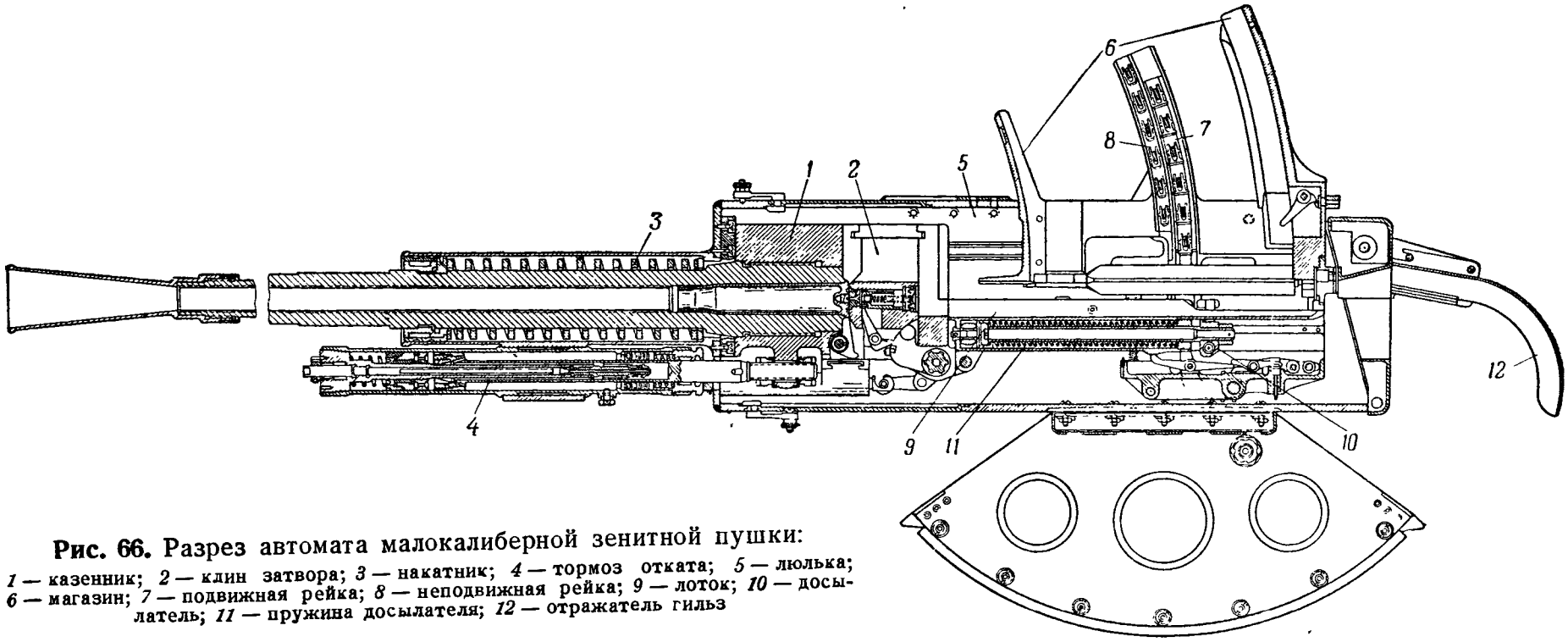


Рис. 66. Разрез автомата малокалиберной зенитной пушки:

1 — казенник; *2* — клин затвора; *3* — накатник; *4* — тормоз отката; *5* — люлька; *6* — магазин; *7* — подвижная рейка; *8* — неподвижная рейка; *9* — лоток; *10* — досылатель; *11* — пружина досылателя; *12* — отражатель гильз

Патроны в магазине продвигаются сверху вниз при помощи подвижных реек *7* с качающимися собачками. Рейки при помощи копиров на лотке *9*, прикрепленном к стволу, перемещаются вверх при откате и вниз при накате. Движение реек вверх является холостым ходом, а движение вниз — рабочим. Патроны удерживаются от перемещения вверх собачками неподвижных реек *8*.

Накат ствола с досылателем и затвором производится пружинным накатником *3*, надетым на ствол. Тормоз отката *4* — веретенного типа.

Экстрактируемая гильза отводится по направлению оси канала ствола вдоль лотка *9*, а затем по выходе из люльки отбрасывается специальным отражателем *12* вниз (наружу).

§ 3. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К АВТОМАТИЧЕСКИМ НАЗЕМНЫМ ПУШКАМ

К автоматическим наземным пушкам предъявляются следующие основные требования:

1. Безотказность действия механизмов автоматики в любых боевых условиях. Полное отсутствие задержек.
2. Безопасность в обращении.
3. Большая живучесть всех деталей.
4. Простота устройства, эксплуатации и производства; возможность сборки и разборки без особых специальных инструментов.
5. Приближение практической скорострельности к темпу огня.
6. Большая кучность стрельбы и удобство наблюдения за целью во время стрельбы.
7. Автоматическое открывание затвора при отсутствии патрона в канале (при перерывах в стрельбе затвор должен оставаться открытым).
8. Расположение очередных патронов, исключающее возможность чрезмерного нагрева их во время стрельбы.
9. Наличие двух спусков: автоматического (непрерывного) и одиночного огня.
10. Отсутствие толчков в конце отката и наката, утомляющих орудийный расчет.
11. Укрытое расположение подвижных частей в люльке (подвижные части должны быть предохранены от попадания на них пыли и грязи).
12. Возможность вести продолжительную автоматическую стрельбу (должны быть достаточно большой толщины стенки ствола, должны быть предусмотрены меры охлаждения и возможность циркуляции воздуха).
13. Возможность производства повторного спуска без открывания затвора.

14. Легкость перезаряжания вручную (с малыми усилиями). Наличие механизмов для облегчения этой операции.

15. Наличие предохранителей от преждевременного спуска ударника и открывания затвора.

16. Автоматическое открывание затвора при израсходовании патронов в ленте или магазине (при этом пружина затвора должна быть взведена).

17. Удобство чистки без разборки.

18. Простота производства механизмов; обеспечение взаимозаменяемости деталей.

19. Возможность использования недефицитных материалов.

РАЗДЕЛ ТРЕТИЙ

ОСНОВАНИЯ УСТРОЙСТВА ЛАФЕТОВ

ГЛАВА I

КРАТКИЙ ОБЗОР РАЗВИТИЯ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ТЕОРИИ ЛАФЕТОВ

§ 1. РАЗВИТИЕ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ТЕОРИИ ЛАФЕТОВ ДО СЕРЕДИНЫ XIX в.

Развитие артиллерийских знаний в России началось с момента введения на вооружение артиллерии, т. е. с середины XIV в. Но до конца XVI в. эти знания не были обобщены. Печатных трудов по артиллерии в то время еще не было.

В начале же XVII в. по заданию правительства один из образованнейших людей того времени, хорошо знавший артиллерию, Онисим Михайлов приступил к обобщению отдельных исследований по военному делу и, в частности, по артиллерии. Он написал труд под названием «Устав ратных, пушечных и других дел, касающихся до воинской науки». В этом труде, изданном в 1607—1621 гг., обобщались многолетние исследования русских артиллеристов в области устройства, проектирования, производства, боевого применения и эксплуатации артиллерии, а также освещался опыт иностранной артиллерии. Труд Онисима Михайлова послужил основой для развития артиллерийских наук. Его изучали многие поколения русских артиллеристов, и до сих пор он представляет большой научный интерес.

Труд Онисима Михайлова свидетельствует о том, что в России в конце XVI в. уже накопилось много опытных данных по проектированию, производству, стрельбе и эксплуатации артиллерии и что Россия не только в области производства вооружения, но и в деле создания артиллерийских наук шла самостоятельным путем и играла ведущую роль.

Особенно быстро стали развиваться артиллерийские науки при Петре I, когда были выращены многочисленные кадры артиллеристов и к решению артиллерийских проблем были привлечены образованнейшие люди того времени.

При Петре I был написан артиллерийский устав и издан ряд книг по артиллерийским вопросам.

Быстрое развитие русской артиллерийской науки и артиллерийского производства обеспечило создание при Петре I новой артиллерии с резко возросшей мощностью орудий при одновременном уменьшении их веса. Вес орудий был уменьшен почти вдвое, благодаря чему значительно повысилась маневренность русской артиллерии.

Из ученых-артиллеристов, выдвинувшихся из народа в период петровских времен, следует особо отметить конструктора Нартова А. К., создавшего многоствольные орудия со специальными лафетами.

М. В. Ломоносов, уделявший большое внимание развитию артиллерийских наук, в своих высказываниях о состоянии русской артиллерии при Петре I отмечал: «Обращает мужественное российское воинство против неприятеля оружие, приготовленное из гор российских, российскими руками».

В середине XVIII в. (40—60-е годы) русская артиллерийская наука значительно продвинулась вперед благодаря научным исследованиям М. В. Ломоносова, Эйлера и других русских ученых.

Созданные русскими артиллеристами в период 1752—1756 гг. орудия, называвшиеся единорогами, по своим боевым и техническим качествам значительно превосходили все орудия, существовавшие в то время в других странах. Лафеты единорогов позволяли вести стрельбу настильным (пушечным) и навесным (гаубичным) огнем из одного и того же орудия. Благодаря разборной конструкции лафетов единороги отличались большой проходимостью и могли использоваться на любой местности (например, в горах). Русские единороги были лучшими образцами гладкоствольной артиллерии и находились на вооружении русской полевой артиллерии более 100 лет. Они с большим успехом применялись в боях при взятии Берлина в 1760 г., в суворовских походах, во время Отечественной войны 1812 г., в войнах с турками и т. д.

В «Артиллерийском журнале», который начал издаваться с 1808 г., печатались статьи русских ученых по всем разделам артиллерийской науки, в том числе и по теории лафетов.

В 1808 г. в этом журнале была помещена статья генерал-майора И. Г. Гогеля о действии выстрела на лафет. Автор в своей статье вывел зависимость пути орудия при откате от веса орудия, угла возвышения и условий заряжания.

В 1809 г. была напечатана статья полковника русской артиллерии Платто о конструкции и расчете ходовых частей лафета.

В 1820 г. в России была создана Артиллерийская академия, профессора которой составляли основное ядро Артиллерийского комитета; своими трудами они подняли на высокий уровень русскую артиллерийскую науку и, в частности, теорию лафетов.

§ 2. РАЗВИТИЕ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ТЕОРИИ ЛАФЕТОВ С СЕРЕДИНЫ XIX в.

Быстрое развитие теории лафетов наблюдалось в середине XIX в. в связи с переходом к изготовлению железных и стальных лафетов, для чего потребовалось более глубокое исследование сил и напряжений, возникающих в различных деталях лафета при выстреле и на походе. Первый железный лафет был введен в береговой артиллерии в 1846 г.; это был лафет системы Венгловского. В 1864 г. в полевой артиллерии появился лафет системы Фишера (автора учебника для Артиллерийской академии — «Лафеты»).

С 1872 г. наступил новый этап в развитии теории лафетов — талантливый русский ученый артиллерист В. С. Барановский создал первое в мире орудие с упругим лафетом (с гидравлическим тормозом и пружинным накатником).

Этим изобретением В. С. Барановского было положено начало современной теории лафетов.

В течение последней четверти XIX в. огромную работу по конструированию и расчетам лафетов для полевой артиллерии обр. 1877 г. и других образцов проделал ученый-артиллерист А. П. Энгельгардт; такую же работу для орудий крепостной и осадной артиллерии (обр. 1877 г.) проделал ученый-артиллерист Семенов. Что касается Энгельгардта, то он продолжал развивать идеи Барановского и снабжал лафеты каучуковыми буферами-рессорами и гидравлическими тормозами как противооткатными устройствами, обеспечивавшими короткий откат орудия при выстреле и большую скорострельность (рис. 67).

В 1891 г. профессор Артиллерийской академии П. А. Шифф впервые в мире применил теорию упругости при расчете ла-

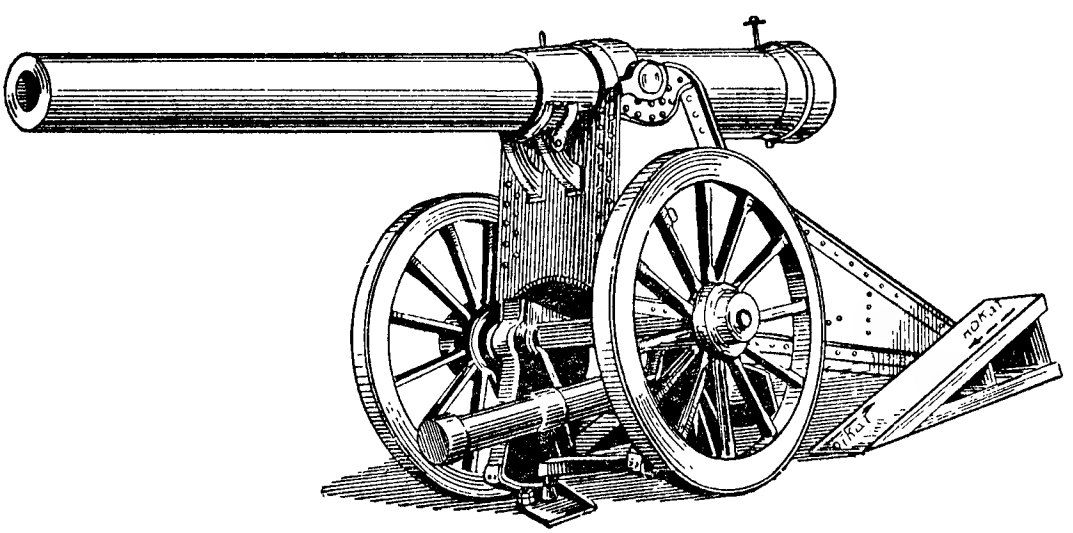


Рис. 67. Самонакатывающееся орудие с гидравлическим тормозом обр. 1877 г. Лафет системы Энгельгардта

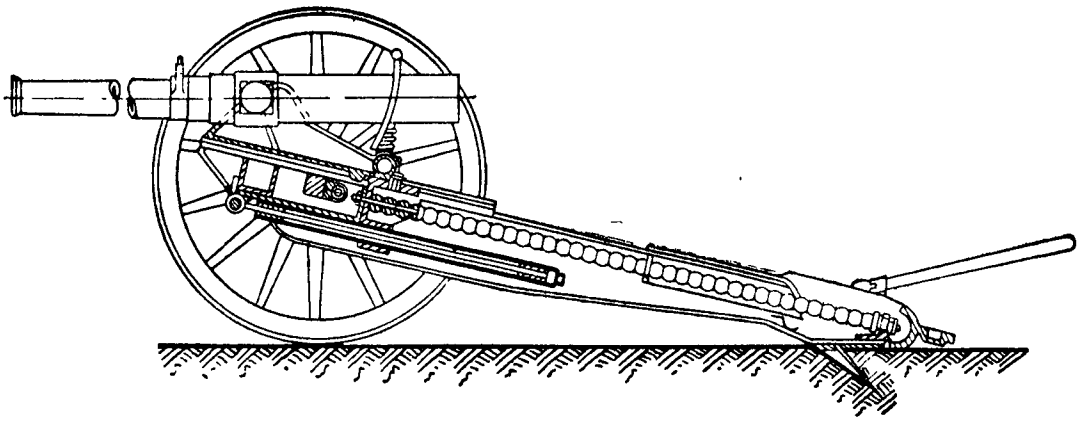


Рис. 68. 76-*мм* пушка обр. 1900 г.

фетов. Он написал труд «Опыт приложения теории упругости к изучению действия выстрела на лафет». Его методика исследования действия выстрела на лафет до сих пор является образцовой.

Исключительно ценными являются работы русского ученого профессора Артиллерийской академии Дурляхова Р. А., создавшего свою теорию лафетов и сконструировавшего лучшие в мире лафеты (в конце XIX в.). Теория лафетов Дурляхова Р. А. была опубликована в 1896 г. Конструкторские бюро в течение многих лет пользовались этой теорией.

В 1900 г. на Всемирной выставке в Париже профессор Дурляхов Р. А. получил большую золотую медаль за свои упругие лафеты. В результате большой конструкторской и научно-исследовательской работы профессору Дурляхову Р. А. удалось правильно применить теорию гидравлики к расчету гидравлических тормозов — он определил значение коэффициента сопротивления жидкости «К» (1896 г.).

Необходимо отметить, что успех Дурляхова в конструировании новых лафетов в большой степени был обусловлен достижениями Барановского, Энгельгардта, Семенова и других русских ученых.

В результате упорного и настойчивого труда русских артиллеристов, смело прокладывавших новые пути в развитии артиллерии, несмотря на все препятствия, создаваемые царским правительством, в России появились самые передовые для того времени образцы артиллерийских орудий.

На рис. 68 показана 76-*мм* пушка обр. 1900 г. с упругим лафетом, разработанным Энгельгардтом. При создании 76-*мм* пушки обр. 1900 г. за основу была взята конструкция пушек системы Барановского. У пушки обр. 1900 г. накатник каучуковый, а тормоз гидравлический.

В течение многих лет весьма плодотворно работал в области развития отечественной теории лафетов профессор Артиллерийской академии Гродский Г. Д., создавший в 1906 г. учебник «Теория лафетов».

Из числа старых ученых-артиллеристов-конструкторов, полностью проявивших свои способности при Советской власти, следует отметить профессора Артиллерийской академии Лендера Ф. Ф., создавшего ряд трудов по теории лафетов и руководившего проектированием скорострельных зенитных орудий.

Большую роль в развитии теории проектирования и производства отечественных лафетов сыграли советские ученые-артиллеристы И. И. Иванов, В. Г. Грабин, Ф. Ф. Петров, А. А. Толочков, Е. Л. Бравин и их многочисленные ученики.

Советские ученые-артиллеристы непрерывно двигают теорию лафетов вперед и руководят конструированием лучших лафетов в мире.

ГЛАВА II

ОБЩИЕ ОСНОВЫ УСТРОЙСТВА ЛАФЕТОВ

§ 1. НАЗНАЧЕНИЕ ЛАФЕТОВ. ЛАФЕТ КАК БОЕВОЙ СТАНОК

В теории лафетов рассматриваются следующие вопросы: назначение и устройство механизмов лафета; движение откатных частей и орудия в целом при выстреле (во время отката и наката); действие различных сил на лафет; напряжения, возникающие в различных деталях лафета при выстреле и на походе.

Знать теорию лафетов необходимо для того, чтобы можно было правильно конструировать и эксплуатировать орудия.

* * *

Определяя назначение лафета для орудия, рассматривают лафет как боевой станок (при стрельбе) и как повозку (на походе) [1].

С начала появления артиллерии и до второй половины XIX в. орудия не имели противооткатных устройств. У этих орудий была жесткая связь ствола с лафетом, не позволявшая стволу во время выстрела откатываться вдоль лафета назад. При стрельбе ствол и лафет откатывались как одно целое. Лафеты таких орудий получили название ж е с т к и х (рис. 69).

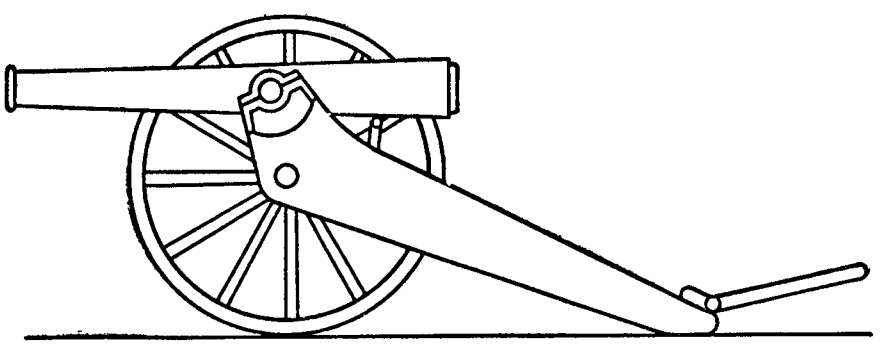


Рис. 69. Орудие с жестким лафетом без сошника

[1] См. XV главу, раздел третий.

У орудий с жестким лафетом ствол обычно имел цапфы, которыми он накладывался на цапфенные гнезда станка лафета.

Полевое орудие с жестким колесным лафетом, как правило, при выстреле подпрыгивало и откатывалось назад иногда на несколько метров, так как силы, тормозящие его при откате (трение о грунт), были малыми, а больших сил для удержания орудия нельзя было приложить ввиду недостаточной прочности лафета.

До середины XIX в. лафеты были деревянными.

Орудия с жесткими лафетами, казалось бы, можно было закреплять на грунте неподвижно. Но для этого пришлось бы лафеты делать более прочными, а следовательно, более громоздкими и тяжелыми. Орудия с такими лафетами нельзя было бы перемещать с войсками, и установка их на позиции была бы весьма продолжительной и трудоемкой.

Большой откат всего орудия (на жестком лафете) мог быть допустимым только при применении дымных порохов, при которых нельзя было достигнуть большой скорострельности. С появлением же бездымных порохов перед конструкторами было поставлено требование обеспечить скорострельность орудий. Это требование удалось осуществить благодаря тому, что были созданы упругие лафеты, при которых откатные части орудия имели малую длину отката и автоматически накатывались в исходное положение.

Переходным типом лафета от жесткого к упругому был самонакатывающийся лафет с гидравлическим тормозом, соединявшим орудие с основанием. При выстреле все орудие откатывалось по специальным клиньям, которые подкладывались под колеса (см. рис. 67). Откатываясь по этим клиньям, орудие поднималось вверх. Таким образом, для торможения отката, кроме гидравлического тормоза, использовалась еще сила тяжести орудия (в орудиях обр. 1877 г.). По наклонным поверхностям клиньев орудие скатывалось вниз под действием собственного веса. Гидравлический тормоз служит и для торможения наката: он обеспечивал остановку орудия при накате всегда на одном и том же месте.

Задачу торможения орудия при откате с последующим возвратом орудия на место удачно решил в свое время (в 1895 г.) А. П. Энгельгардт, поставив на станину сошник с каучуковым буфером, игравшим роль тормоза отката и накатника (рис. 70). А. П. Энгельгардт первый в мире ввел подрессоривание в полевую артиллерию и использовал каучуковые буферы как накатники в полевой артиллерии.

Введение упругих лафетов с неподвижным при выстреле станком, чего впервые достиг Барановский, дало возможность принять на вооружение усовершенствованные прицелы и механизмы наводки, а также автоматизировать работу механизмов затвора.

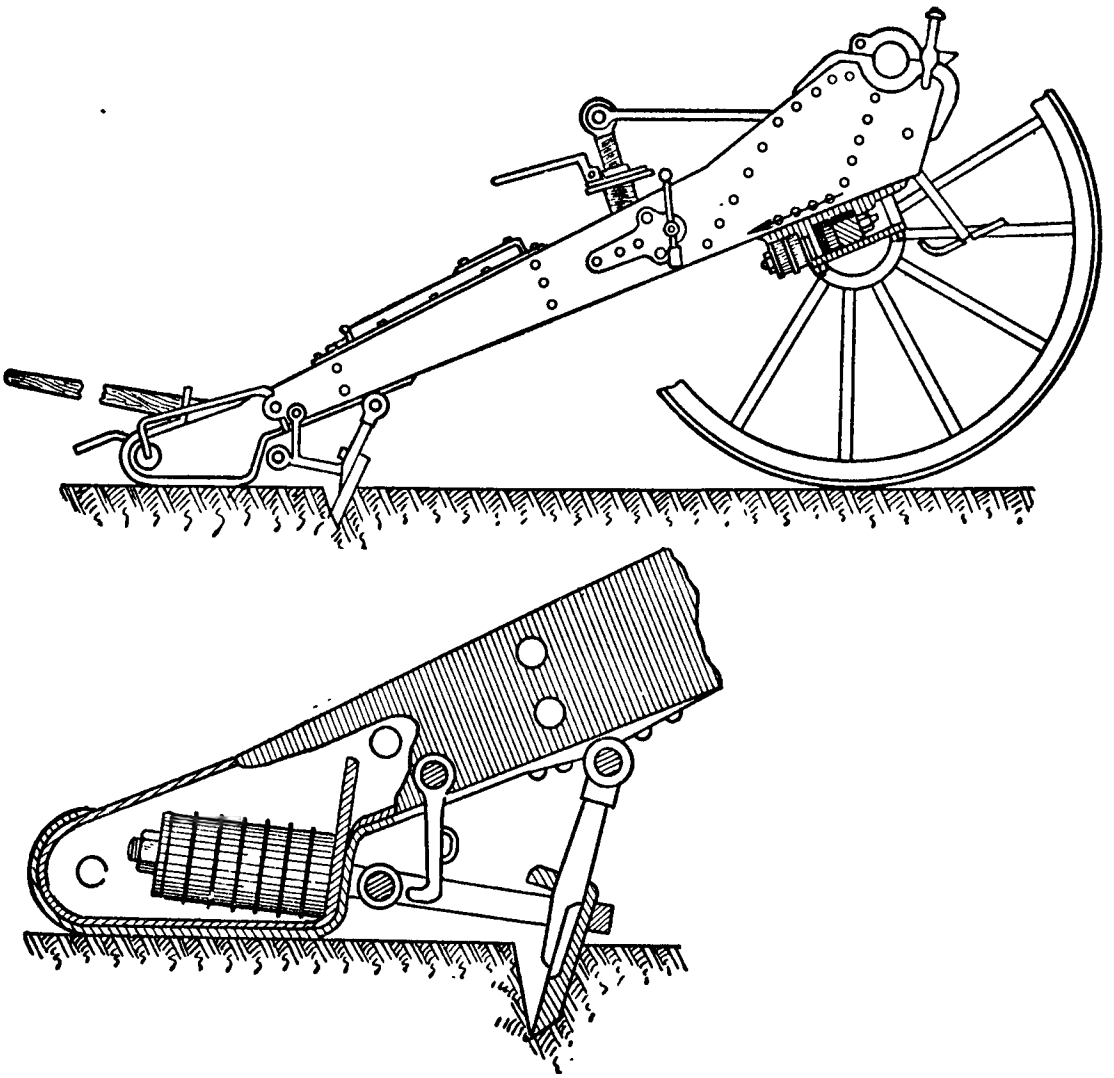


Рис. 70. Схема упругой связи сошника с хоботовой частью орудия с жестким лафетом. Станок лафета подрессорен на боевой оси с помощью каучукового буфера

С конца XIX в. и до настоящего времени основным типом лафета является так называемый упругий лафет, у которого между откатными частями (стволом и деталями, жестко с ним связанными) и неподвижными при выстреле частями имеется упругая связь (пружина, каучук, газ). При выстреле эта упругая связь деформируется с аккумулированием энергии для возвращения откатных частей в переднее, исходное для выстрела положение.

Упругие лафеты, кроме упругой связи, возвращающей откатные части в переднее положение, имеют еще гидравлические тормозы, превращающие за время отката и наката почти всю живую силу отката в теплоту, идущую на нагрев жидкости и деталей противооткатных устройств. Первыми в мире орудиями с упругими лафетами были 2,5-дюймовые полевые и горные пушки системы В. С. Барановского (1872 г.).

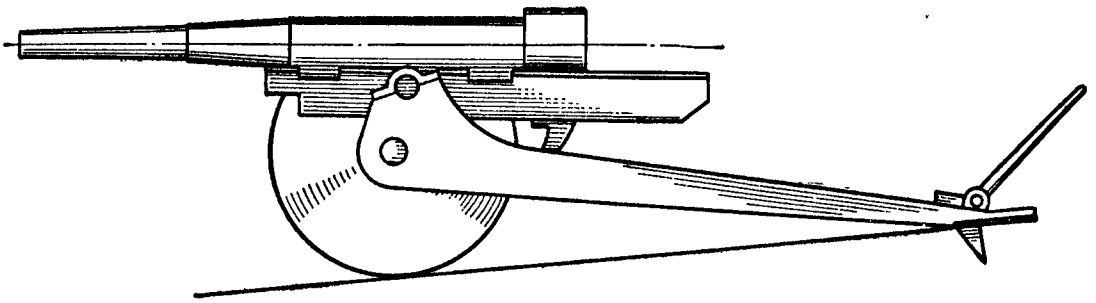


Рис. 71. Орудие на колесном упругом лафете

С появлением упругих лафетов значительно повысились скорострельность, кучность и меткость стрельбы. Созданию упругих лафетов в очень большой степени способствовало развитие металлургии высококачественных сталей и точной механической обработки. Это позволило изготовлять сложные, прочные и негромоздкие детали противооткатных устройств и станков лафетов. Общий вид орудий с жестким и упругим лафетом показан на рис. 69, 71 и 72.

Во время второй мировой войны широко применялись артиллерийские орудия, не имеющие противооткатных устройств. К таким орудиям относятся минометы, пушки динамическореактивного действия (ДРП) и метательные установки для стрельбы реактивными снарядами.

В зависимости от назначения орудий и приспособленности их к перемещению по местности различают нестационарные орудия (лафеты) и стационарные.

Стационарными орудиями называются такие орудия, которые не имеют своих ходовых частей и предназначаются для установки на специальных объектах (подвижных или неподвижных).

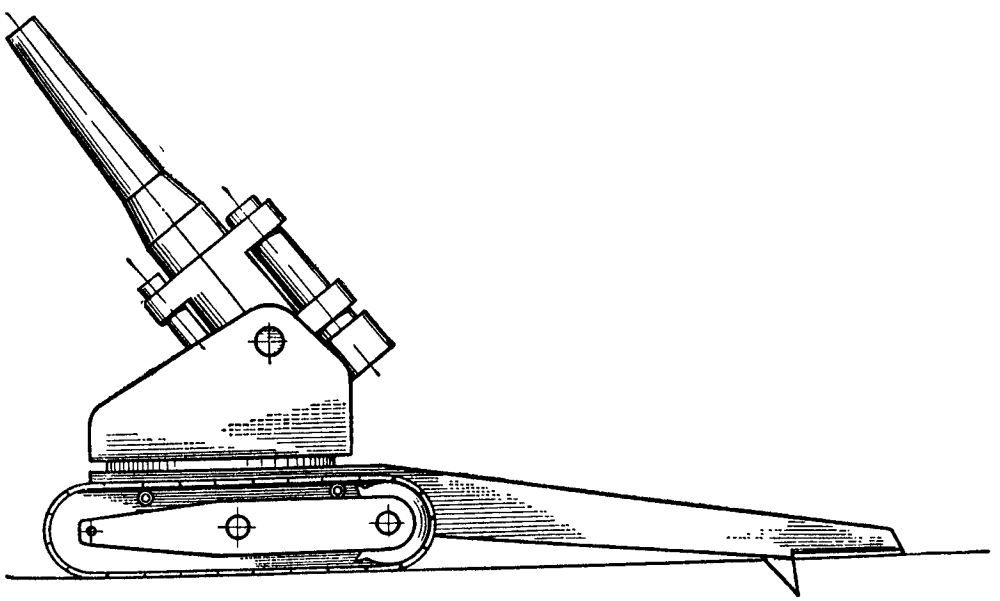


Рис. 72. Орудие на гусеничном упругом лафете

К стационарным неподвижным орудиям относятся береговые, крепостные и специальные зенитные установки. К стационарным подвижным орудиям относятся корабельные, железнодорожные, самолетные, танковые и самоходные орудия.

Нестационарные орудия имеют свои ходовые части или штатные перевозочные средства. К ним относятся все орудия и минометы войсковой артиллерии.

По конструкции ходовых частей нестационарные лафеты делятся на колесные (например, 76-*мм* пушка обр. 1942 г.) и гусеничные (например, 203-*мм* гаубица обр. 1931 г.).

§ 2. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ЛАФЕТУ КАК БОЕВОМУ СТАНКУ

Такими требованиями являются следующие:

1. Конструкция лафета должна обеспечивать возможность производить наводку орудия плавно, с требуемой скоростью и без приложения больших усилий на маховиках подъемного и поворотного механизмов.

2. Устройство лафета должно обеспечивать несбиваемость наводки орудия при заряжании и при выстреле.

3. Лафет должен быть надежно прочным при выстреле и на походе в любых условиях боевой обстановки; он должен обеспечивать большую подвижность орудия.

4. Все механизмы лафета должны обладать большой живучестью, т. е. детали лафета должны мало изнашиваться, а механизмы не должны расстраиваться в течение весьма длительного срока эксплуатации и хранения в различных боевых условиях.

5. Орудие должно быть устойчивым при стрельбе, что весьма важно для скорострельности, кучности и меткости стрельбы.

6. Все механизмы лафета должны быть удобными в обращении и простыми в производстве.

7. Лафеты должны иметь вспомогательные механизмы: обеспечивающие правильное обращение с орудием; предохраняющие детали от поломок и исключающие возможность аварии; обеспечивающие возможность обслуживания орудия малым количеством людей; повышающие скорострельность, маневренность и живучесть орудия.

8. Конструкция лафета должна обеспечивать возможность большой огневой маневренности орудия (большие секторы обстрела в вертикальной и горизонтальной плоскостях). В связи с этим были созданы орудия с двумя станками (верхним и нижним), а также лафеты с двумя, тремя и четырьмя станинами.

§ 3. СИЛЫ, ДЕЙСТВУЮЩИЕ ВО ВРЕМЯ ВЫСТРЕЛА НА ОРУДИЕ С ЖЕСТКИМ ЛАФЕТОМ

Для того чтобы понять, почему потребовалось перейти от жесткого лафета к упругому, и для того чтобы выявить возможности применения схемы жесткого лафета в современной артиллерии, нужно знать, какие силы во время выстрела действуют на орудие с жестким лафетом.

При изучении сил, действующих на орудие с жестким лафетом, и при выводе условий устойчивости и неподвижности при выстреле примем следующие допущения:

1. В отношении орудия — ствол жестко соединен с лафетом и не перемещается относительно лафета. Орудие не изменяет своих размеров, как абсолютно твердое тело, и не разрушается.

2. В отношении площадки для орудия — площадка точно горизонтальная, при выстреле не деформируется и все время находится в покое.

3. В отношении установки орудия на площадке — ствол занимает среднее положение относительно хода лафета; орудие имеет вертикальную плоскость симметрии; сошник зарыт в грунт, который не разрушается при выстреле и таким образом препятствует откату орудия в целом. Колеса не отделяются от грунта (нет прыжка орудия).

4. В отношении сил — ввиду симметрии канала ствола и орудия в целом все силы действуют в одной и той же вертикальной плоскости — плоскости симметрии орудия. К этим силам относятся: вес орудия, равнодействующая всех сил, действующих в канале ствола на орудие, равнодействующая реакций опорной площадки на колеса, реакция опорной площадки на сошниковый лист и реакция опорной площадки на сошник.

5. В отношении положения оси цапф — ось цапф ствола горизонтальна и пересекает ось канала ствола (рис. 73).

При указанных допущениях силы, действующие на орудие, будут иметь следующие характеристики:

$P_{кн}$ — равнодействующая сил действия пороховых газов и снаряда на ствол. Она приложена к дну канала ствола и направлена вдоль оси канала ствола в сторону, обратную направлению движения снаряда. Величина силы $P_{кн}$ определяется выражением

$$P_{кн} = P \cdot S - R_{п} \approx 0{,}98 P \cdot S,$$

где P — давление газов в канале ствола;

S — площадь поперечного сечения канала ствола в области полного профиля нарезной части (для орудий с коническим каналом S — наименьшее сечение канала в заснарядной части его в данный момент);

$R_п$ — сила действия ведущих частей (пояска) снаряда на поверхность канала ствола; она в первом приближении может быть принята равной $0{,}02PS$. Ввиду малости силы $R_п$ по сравнению с PS часто принимают $P_{кн} \approx PS$;

$Q_б$ — вес орудия в боевом положении; эта сила приложена к центру тяжести орудия и направлена по вертикали вниз;

$N_{хб}$ и $T_{хб}$ — вертикальная и горизонтальная составляющие реакции грунта на сошник. Для упрощения выводов принимают, что точка приложения реакции грунта на сошник (точка C) лежит в плоскости основания лафета;

$N_{лб}$ — сумма реакций грунта на колеса орудия. Эта сила принимается вертикальной, так как считают, что колеса не заторможены; $N_{лб}$ расположена в плоскости симметрии орудия.

В течение выстрела не меняется только одна сила — сила веса орудия $Q_б$, а все остальные силы меняются в зависимости от изменения силы $P_{кн}$, т. е. в зависимости от величины давления газов. Величина давления газов P определяется при решении баллистической задачи. Для периода последействия газов давление приближенно определяется по формуле Дурляхова Р. А., выражающей линейный закон изменения давления в зависимости от времени с момента вылета снаряда (см. главу, где говорится об упругом лафете). Общий вид изменения силы $P_{кн}$ показан дальше на рис. 80. Сила $R_п$ перестает действовать с момента вылета снаряда.

§ 4. УСЛОВИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ПРИ ВЫСТРЕЛЕ ОРУДИЯ С ЖЕСТКИМ ЛАФЕТОМ

Орудие считается устойчивым при выстреле, если оно не вращается (не подпрыгивает) во время выстрела.

До выстрела орудие находится в покое, действие силы $Q_б$ уравновешивается действием реакций опор (см. рис. 73).

При выстреле сила $P_{кн}$ толкает ствол, а вместе с ним и все орудие назад, стремясь вращать орудие вокруг оси, проходящей через точку опоры C и перпендикулярной к плоскости действия сил (плоскость стрельбы).

Для того, чтобы орудие не вращалось, сумма моментов всех сил (ΣM_c), действующих на орудие, должна равняться нулю. Отсюда получим следующее уравнение:

$$\Sigma M_c = P_{кн}h + N_{лб}L - Q_б D = 0,$$

где h — плечо силы $P_{кн}$ относительно точки C, причем (см. рис. 75)

$$h = H\cos\varphi - D_ц \sin\varphi;$$

H — высота линии огня, т. е. расстояние от основания орудия (от грунта) до оси канала ствола при $\varphi = 0°$ или до оси цапф при принятых допущениях;

$D_ц$ — горизонтальное расстояние между осью цапф и точкой C;

φ — угол возвышения;

L — горизонтальное расстояние от линии опоры колес до точки C в плоскости стрельбы;

D — горизонтальное расстояние между центром тяжести орудия и точкой C.

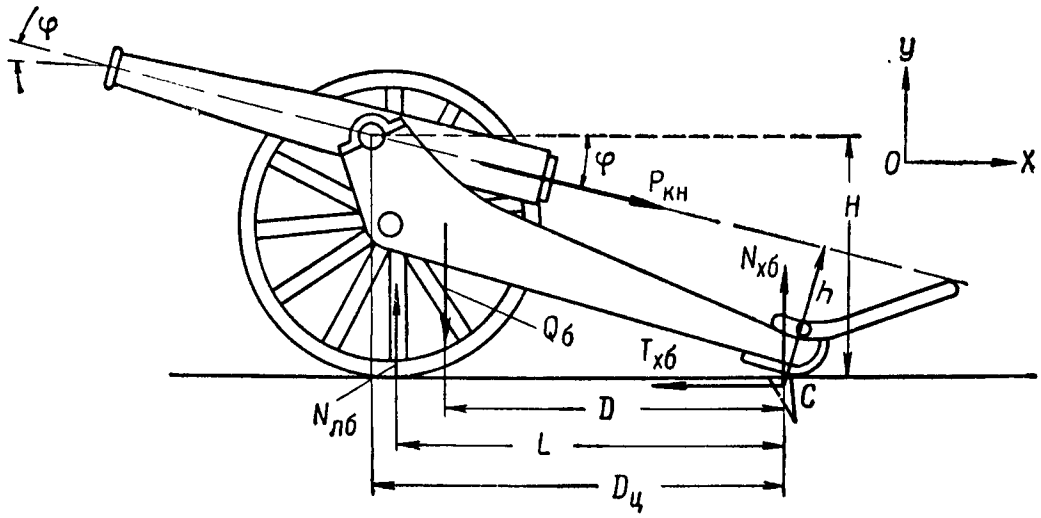


Рис. 73. Силы, действующие на орудие с жестким лафетом с сошником при угле возвышения более нуля

Рассмотрим условия предельного устойчивого положения орудия, когда колеса еще не отделились от земли, но уже не давят на землю. В этом случае

$$N_{лб} = 0$$

и

$$\Sigma M_c = P_{кн}h - Q_б D = 0.$$

Момент силы $P_{кн}$, стремящийся вывести орудие из равновесия, называется опрокидывающим моментом ($P_{кн}h$).

Момент силы веса орудия, противодействующий опрокидывающему моменту, называется стабилизирующим моментом ($Q_б D$).

Для надежной устойчивости орудия необходимо, чтобы стабилизирующий момент превосходил по своей абсолютной величине опрокидывающий момент, т. е. чтобы было неравенство

$$Q_б D > P_{кн}h.$$

Это неравенство должно сохраняться при самом большом значении h и при самом большом значении $P_{кн}$, т. е. при $P_{кн,max}$. Выражение для h показывает, что величина h имеет наибольшее значение при наименьшем угле возвышения.

Итак, орудие будет устойчиво во все время стрельбы, если

$$Q_6 D > P_{кн,\,max} h_{max},$$

т. е. если оно устойчиво при самом малом угле возвышения.

Средства повышения устойчивости орудия при выстреле

Выведенные выше формулы показывают, что устойчивость орудия возрастает с увеличением его веса и горизонтального расстояния D от центра тяжести орудия до опоры сошника, а также с уменьшением силы $P_{кн}$ и плеча h этой силы.

Величина h уменьшается с уменьшением высоты линии огня H и с увеличением расстояния $D_ц$ и угла возвышения φ.

Все эти средства повышения устойчивости орудия с жестким лафетом применимы и к орудию с упругим лафетом, однако решение задачи устойчивости при упругом лафете обеспечивается в первую очередь наличием противооткатных устройств, изменяющих действие силы $P_{кн}$ на неподвижные части орудия.

Различные требования к орудию иногда ставят конструкторов в затруднительное положение. Так, например, чтобы сохранить маневренность орудия, нельзя сильно увеличивать его вес, наоборот, нужно уменьшать его. Высокое давление газов необходимо для получения большой начальной скорости, между тем это влияет на устойчивость орудия. Величина D зависит от длины станин, но станины нельзя делать слишком длинными, так как при этом снизится маневренность орудия и возникнут большие напряжения в станинах при выстреле. Чаще всего при обеспечении маневренности приходится считаться с определенным (заданным) весом орудия и в зависимости от этого ограничивать сектор углов возвышения, при которых орудие остается вполне устойчивым.

Так как полевые орудия обычно применяются и для стрельбы на короткие расстояния, то естественно, что к этим орудиям предъявляется требование устойчивости при угле возвышения $\varphi = 0°$ (рис. 74). Необходимым условием устойчивости орудия во время стрельбы при $\varphi = 0°$ является соблюдение неравенства

$$Q_6 D_0 > P_{кн,\,max} H,$$

где D_0 — расстояние от точки C до линии действия силы Q_6 при $\varphi = 0°$.

Как правило, $D_0 = D$, так как центр тяжести ствола обычно лежит на оси цапф.

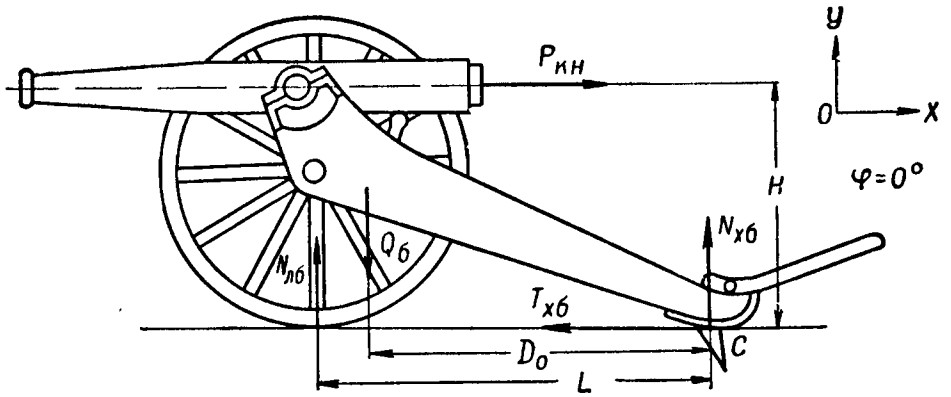


Рис. 74. Силы, действующие на орудие с жестким лафетом с сошником при угле возвышения, равном нулю

О влиянии угла возвышения на устойчивость

Величина опрокидывающего момента $P_{кн}\ h$ при одних и тех же условиях заряжания зависит от величины h, которая в свою очередь меняется с изменением угла возвышения φ согласно формуле

$$h = H\cos\varphi - D_ц \sin\varphi.$$

Очевидно, что h убывает с увеличением угла возвышения (рис. 75 и 77).

Из формулы следует, что величина h может быть равна нулю, когда

$$H\cos\varphi = D_ц \sin\varphi$$

или когда

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{H}{D_ц}.$$

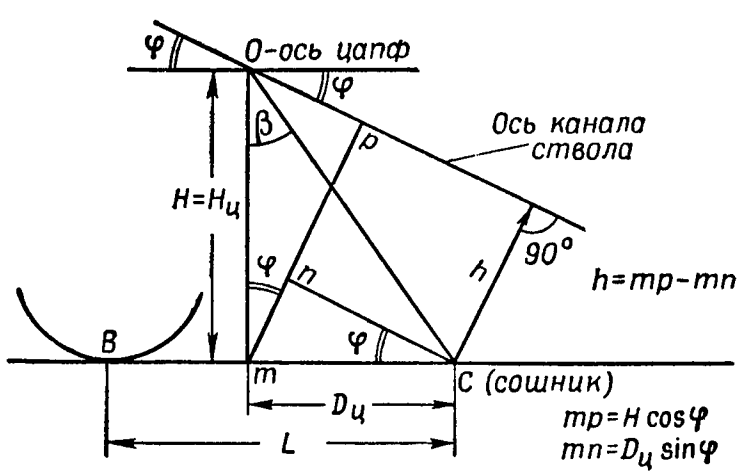


Рис. 75. Зависимость между плечом h силы $P_{кн}$, высотой линии огня (H), углом возвышения φ и расстоянием $D_ц$ для орудия с жестким лафетом

В этом случае орудие будет вполне устойчивым, так как опрокидывающий момент равен нулю (рис. 76).

Обозначим угол возвышения, при котором опрокидывающий момент равен нулю, через $\varphi_п$. Ось канала ствола при $\varphi_п$ проходит через точку C (так как $h = 0$). Угол $\varphi_п$ определяется с помощью формулы

$$\operatorname{tg} \varphi_п = \frac{H}{D_ц}.$$

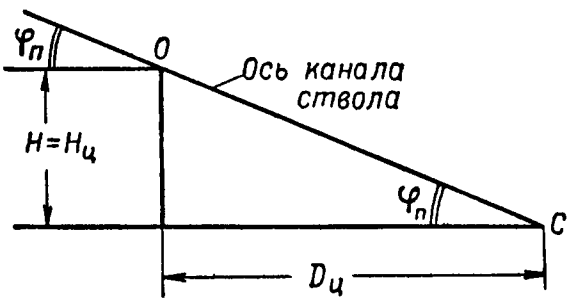


Рис. 76. Схема угла полной устойчивости при выстреле ($h = 0$)

Очевидно, что при всех углах возвышения более $\varphi_п$ величина h будет иметь отрицательное значение, так как с увеличением φ величина $H \cos \varphi$ убывает, а $D_ц \sin \varphi$ увеличивается (при этом имеется в виду, что $\varphi \leq 90°$).

Изменение величины и знака h в зависимости от угла возвышения показано на рис. 77, где даны пять различных положений оси канала ствола и соответствующие им значения величины плеча h:

(I) $\varphi_I = 0°$, при этом $h = H$;

(II) $0 < \varphi_{II} < \varphi_п$, при этом $H > h > 0$;

(III) $\varphi_{III} < 0$, при этом $h > H$;

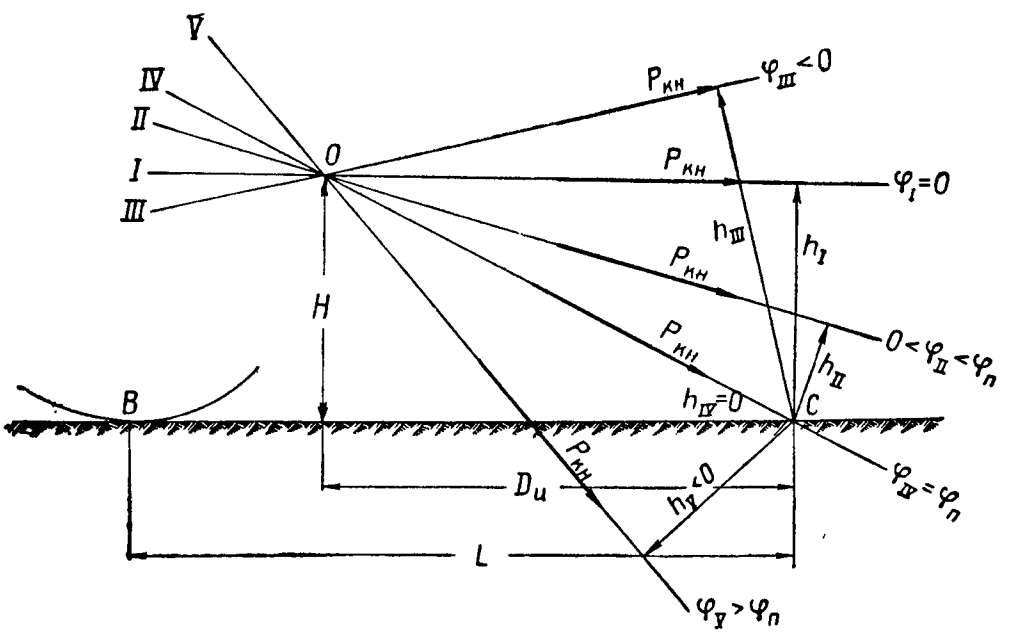


Рис. 77. Зависимость плеча h силы $P_{кн}$ от угла возвышения для орудия с жестким лафетом:

0 — ось цапф; *I, II, III, IV, V* — положения оси канала при различных углах возвышения

(IV) $\varphi_{IV} = \varphi_п$, при этом $h = 0$;

(V) $\varphi_V > \varphi_п$, при этом $h < 0$.

Отсюда понятно, почему минометы, имеющие малый вес и не имеющие противооткатных устройств, обладают полной устойчивостью при выстреле, если они правильно установлены на огневой позиции (у них $h = 0$).

Понятие о предельном угле устойчивости орудия с жестким лафетом

Наименьший угол возвышения, при котором орудие остается еще устойчивым при выстреле, называется предельным углом устойчивости и обозначается через $\varphi_{пр}$.

Во время стрельбы при $\varphi_{пр}$ имеет место равенство (см. стр. 164 и 165)

$$Q_б D = P_{кн,\ max} h_{пр},$$

откуда

$$h_{пр} = \frac{Q_б D}{P_{кн,\ max}}.$$

Из рис. 75 видно, что

$$OC = h : \cos(\varphi + \beta) = \sqrt{H^2 + D_ц^2} \quad \text{и} \quad \operatorname{tg}\beta = \frac{D_ц}{H},$$

поэтому

$$\cos(\varphi_{пр} + \beta) = \frac{Q_б D}{P_{кн,\ max}\sqrt{H^2 + D_ц^2}}.$$

Найдя угол $(\varphi_{пр} + \beta)$ и вычислив β, определяем $\varphi_{пр}$ как разность углов:

$$\varphi_{пр} = \arccos(\varphi_{пр} + \beta) - \operatorname{arc\,tg}\beta.$$

§ 5. УСЛОВИЕ НЕПОДВИЖНОСТИ ОРУДИЯ С ЖЕСТКИМ ЛАФЕТОМ ПРИ ВЫСТРЕЛЕ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕАКЦИЙ ГРУНТА НА СОШНИК И НА КОЛЕСА

Неподвижностью орудия при выстреле называется отсутствие его поступательного перемещения.

Как уже было установлено при изучении условий устойчивости орудия при выстреле, из всех сил, действующих на орудие, только одна сила $P_{кн}$ стремится нарушить состояние покоя (см. рис. 73).

Сила $P_{кн}$ очень велика, и чтобы ее уравновесить, необходимо приложить к орудию большие силы реакции грунта. Но

грунт обладает незначительным сопротивлением на единицу поверхности, большую же силу реакции можно получить с помощью больших опорных поверхностей сошника и колес.

Орудие не получит ускорения поступательного перемещения в том случае, если сумма всех сил, действующих на орудие, равна нулю. Для сил, действующих в одной плоскости, это условие выражается двумя уравнениями (рис. 78):

$$\sum X = 0$$

и

$$\sum Y = 0,$$

где $\sum X$ — сумма проекций всех сил на ось OX;
$\sum Y$ — сумма проекций всех сил на ось OY.

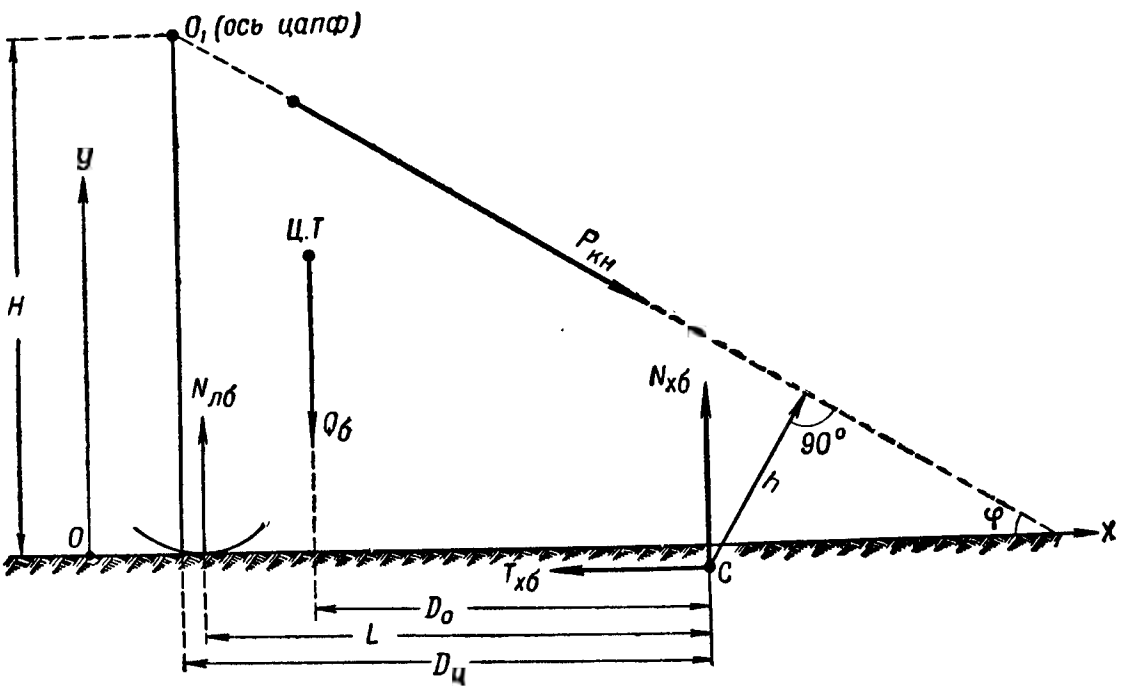


Рис. 78. Схема сил, действующих на орудие с жестким лафетом при выстреле

Примем ось OX горизонтальной с положительным направлением в сторону отката, а ось OY — вертикальной с положительным направлением вверх.

Напишем сумму проекций сил, действующих на орудие при выстреле,

$$\sum X = P_{кн} \cos \varphi - T_{хб} = 0;$$

$$\sum Y = N_{лб} - Q_б - P_{кн} \sin \varphi + N_{хб} = 0.$$

Для решения уравнений прибавим сюда еще уравнение условия устойчивости (условия отсутствия ускорения вращательного движения)

$$\sum M_c = P_{кн}h + N_{лб}L - Q_б D = 0.$$

Решая систему уравнений $(\sum X)$, $(\sum Y)$ и $(\sum M_c)$, получим

$$\text{из } (\sum X) \ldots T_{хб} = P_{кн} \cos \varphi;$$

$$\text{из } (\sum M_c) \ldots N_{лб} = \frac{Q_б D - P_{кн} h}{L}$$

или, если вместо h поставить его выражение из § 4,

$$N_{лб} = \frac{Q_б D - P_{кн} (H \cos \varphi - D_ц \sin \varphi)}{L};$$

$$\text{из } (\sum Y) \ldots N_{хб} = Q_б + P_{кн} \sin \varphi - N_{лб}.$$

Величины реакций грунта для одного и того же орудия при одинаковых условиях заряжания зависят от угла возвышения и от величины давления газов.

Очевидно, что чем больше давление газов, тем больше будут реакции грунта.

Поэтому из $(\sum X)$ имеем

$$T_{хб,\ max} = P_{кн,\ max} \text{ при } \varphi = 0°;$$

из $(\sum M_c)$ имеем

$$N_{лб,\ max} = \frac{Q_б D + P_{кн,\ max} (D_ц \sin \varphi_{max} - H \cos \varphi_{max})}{L};$$

из $(\sum Y)$ имеем

$$N_{хб,\ max} = Q_б + P_{кн,\ max} \sin \varphi_{max} - N_{лб,\ max} \text{ при } (\varphi = \varphi_{max}).$$

При угле возвышения $\varphi = 90°$ вертикальные реакции будут определяться формулами:

для орудий

$$N_{лб_{90°}\ max} = \frac{Q_б D_{90°} + P_{кн,\ max} D_ц}{L};$$

$$N_{хб_{90°}} = Q_б + P_{кн,\ max} - N_{лб_{90°}}, \text{ а } T_{хб_{90°}} = 0;$$

для минометов

$$D_ц = 0;$$

$$N_{хб_{90°}} \approx Q_б + P_{кн,\ max} \text{ (реакция на плиту)}$$

и

$$N_{лб_{90°}} \approx 0 \text{ (реакция на двуногу).}$$

Определение опорных поверхностей лафета

При выводе выражений для реакций грунта в условиях устойчивости и неподвижности орудия делают допущение об абсолютной твердости грунта и лафета. В действительности же грунт и лафет не обладают этим свойством. Поэтому, чтобы грунт не разрушался, давление на единицу его поверхности не должно превышать допускаемой величины.

В теории лафетов принято считать допустимое напряжение грунта на сжатие $\sigma_{гр} \approx 4 \div 5$ *кг/см*^{2}.

Для минометов вынуждены иногда допускать $\sigma_{гр} = 10$ *кг/см*^{2}, но это нежелательно, так как при стрельбе на среднем грунте миномет будет зарываться плитой в грунт. Вообще минометы немного откатываются за счет упругой деформации грунта и накатываются силами упругости грунта.

Обозначим величины опорных поверхностей лафета следующим образом:

$F_{лб}$ — опорная поверхность под колесами, воспринимающая реакцию $N_{лб}$;

$F_{лист}$ — опорная поверхность сошникового листа, воспринимающая реакцию $N_{хб}$;

$F_{сошн}$ — опорная поверхность сошника, воспринимающая реакцию $T_{хб}$.

Необходимые величины опорных поверхностей определяются формулами

$$F_{лб} \geqslant \frac{N_{лб}}{\sigma_{гр}};$$

$$F_{лист} \geqslant \frac{N_{хб}}{\sigma_{гр}};$$

$$F_{сошн} \geqslant \frac{T_{хб}}{\sigma_{гр}}.$$

§ 6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕАКЦИЙ ОПОРЫ НА ОРУДИЕ С ЖЕСТКИМ ЛАФЕТОМ И НЕОБХОДИМЫХ ВЕЛИЧИН ОПОРНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ (ПРИМЕРЫ)

Порядок определения реакций опоры на орудие с жестким лафетом и величин опорных поверхностей можно проследить на следующих примерах.

Пример 1. Выстрел производится из 76-*мм* пушки, имеющей следующие характеристики:

$P_{max} = 2500$ *кг/см*^{2}; $S = 46$ *см*^{2} (площадь поперечного сечения канала ствола); $H = 1$ *м*; $D_ц = 2{,}5$ *м*;

$L = 2{,}7$ *м*; $\sigma_{гр} = 4$ *кг/см*^{2}.

Найти: $T_{хб}$ при $\varphi = 0°$; $N_{лб}$ при $\varphi = 90°$; $N_{хб}$ при $\varphi = \varphi_п$ и определить необходимые опорные площади: $F_{сошн}$; $F_{листа}$; $F_{лб}$.

Р е ш е н и е.

1) $P_{кн,\ max} = P_{max} \cdot S = 2500 \cdot 46 = 115000$ *кг*;

2) $T_{хб,\ max} = P_{кн,\ max} = 115000$ *кг*;

3) $N_{лб_{90°}} = \dfrac{Q_б D_0 + P_{кн} D_ц}{L}$ при $\varphi = 90°$.

В первом приближении пренебрегаем силой веса $Q_б$ ввиду ее сравнительной малости (тем самым уменьшаем $N_{лб}$), тогда

$$N_{лб_{90°}} = \frac{P_{кн} \cdot D_ц}{L} = 115000\ \frac{2{,}5}{2{,}7} = 106000\ кг.$$

4) $N_{хб,\ фп} = \dfrac{P_{кн} \cdot H}{\sqrt{H^2 + D_ц^2}} = \dfrac{115000 \cdot 1}{\sqrt{1 + 2{,}5^2}} = 42700$ *кг* (без учета $Q_б$).

Находим площади опор:

$$F_{сошн} = \frac{T_{хб}}{\sigma_{гр}} = \frac{115000}{4} = 28700\ см^2 = 2{,}87\ м^2;$$

$$F_{листа} = \frac{N_{хб}}{\sigma_{гр}} = \frac{42700}{4} = 10700\ см^2 = 1{,}07\ м^2;$$

$$F_{лб} = \frac{N_{лб}}{\sigma_{гр}} = \frac{106000}{4} = 26500\ см^2 = 2{,}65\ м^2.$$

Вывод. Опорные поверхности у орудия с жестким лафетом, гарантирующие неподвижность при выстреле, получаются очень большими по сравнению с опорными поверхностями у орудия с упругим лафетом.

Пример 2. Требуется определить размеры опорной плиты миномета, имеющего жесткую связь ствола с плитой, при этом баллистика миномета такая же, как и у 76-*мм* пушки (см. пример 1).

Дано: $d = 76$ *мм*; $P_{max} = 2500$ *кг/см*^{2}; $S = 46$ *см*^{2}; $D_ц = 0$.

Плита направлена своей плоскостью перпендикулярно к оси ствола; $\sigma_{гр} = 4$ *кг/см*^{2}.

Р е ш е н и е.

$$F_{плиты} = \frac{P_{кн,\ max}}{\sigma_{гр}} = \frac{115000}{4} = 28700\ см^2 = 2{,}87\ м^2.$$

При $\sigma_{гр} = 10$ *кг/см*^{2} площадь $F_{плиты} = 1{,}15$ *м*^{2}.

Пример 3. Требуется определить вес орудия с жестким лафетом в боевом положении, исходя из условия устойчивости при выстреле.

Выстрел дает 76-*мм* пушка с вышеуказанными характеристиками, причем $D_0 = D_ц$.

Найти $Q_б$ при $\varphi = 0°$.

Решение.

$$Q_б = \frac{P_{кн,\ max} H}{D_0} = \frac{115000 \cdot 1}{2{,}5} = 46000\ кг = 46\ т.$$

Числовые примеры наглядно показывают, почему практически невозможно обеспечить устойчивость и неподвижность орудий с современными баллистическими характеристиками и с жестким лафетом. Большая величина $F_{плиты}$ свидетельствует о том, что и минометы большой мощности рационально делать на упругом лафете.

§ 7. ОСНОВНЫЕ МЕХАНИЗМЫ (ЧАСТИ) СОВРЕМЕННОГО УПРУГОГО ЛАФЕТА

Основными частями упругого лафета являются:

1. **Противооткатные устройства.** Они предназначены для плавного торможения откатных частей орудия, плавного возвращения их в переднее положение и надежного удержания в крайнем переднем положении до выстрела при любом угле возвышения.

При нормальной работе противооткатных устройств обеспечиваются устойчивость и неподвижность орудия при выстреле, сохранение наводки при стрельбе и высокая скорострельность.

Противооткатные устройства состоят из тормоза отката, накатника и тормоза наката.

Современные тормозы гидравлического типа; они работают при откате и накате.

Накатники удерживают откатные части до выстрела в крайнем переднем положении, во время отката участвуют в торможении движения откатных частей, аккумулируя при этом энергию для наката, и возвращают откатные части в переднее положение. К концу наката орудия после выстрела вся энергия отката благодаря работе гидравлических тормозов и сил трения на направляющих люльки и в уплотнениях противооткатных устройств переходит в теплоту, идущую на нагревание противооткатных устройств и люльки.

2. **Люлька.** Как правило, люлька является опорой для ствола, по которой он скользит при откате и накате. Она обеспечивает сохранение направления ствола, приданного ему во время наводки. У некоторых орудий ствол крепится на салазках, которые скользят по люльке при откате и накате.

Обычно в люльке монтируются противооткатные устройства. При работе подъемного механизма люлька поворачивается вокруг оси своих цапф. Это дает возможность при вертикальной наводке придавать стволу определенный угол возвышения. С люлькой связаны уравновешивающий механизм и прицельные устройства

3. **Станок лафета и станины с сошниками.** У большинства современных орудий станок состоит из двух отдельных частей — верхнего и нижнего станков. Станки являются опорой для качающейся части орудия; они удерживают ствол в том положении, которое ему придано, и обеспечивают несбиваемость наводки при выстреле.

На станках монтируются механизмы наводки орудия (подъемный и поворотный), уравновешивания качающейся части, горизонтирования и подрессоривания орудия; кроме того, на них монтируются прицельные устройства и щитовое прикрытие.

Станины с сошниками удерживают орудие от перемещения его при стрельбе (во время отката и наката). Следует отметить, что в первых конструкциях орудий с торможением отката всего орудия была упругая связь сошника с хоботовой частью орудия (см. рис. 70).

На походе станок является основной частью повозки — опорной балкой и служит связью между ходами.

Благодаря наличию двух станков (верхнего и нижнего) и нескольких станин обеспечивается большой угол горизонтального обстрела при неизменном положении опорных частей орудия (сошников, колес, домкратов). Кроме того, при двух станках можно производить горизонтальную наводку плавно, без больших усилий, так как в этом случае приводятся в движение меньшие массы и применяются шариковые подшипники. В орудиях же с одним станком поворачивается, как правило, все орудие, причем колеса и сошник перемещаются по грунту.

Примечание. Стационарные установки не имеют станин и сошников. Лафеты стационарных установок обычно связаны через тумбу или башню с основанием установки.

4. **Механизмы наводки орудия** — подъемный и поворотный. Они служат для придания стволу требуемого направления относительно станка в вертикальной и горизонтальной плоскостях.

Для сохранения приданного стволу направления механизмы наводки делаются самотормозящимися.

У некоторых малокалиберных противотанковых орудий механизмы эти могут выключаться для ускорения наводки (особенно это важно при стрельбе по быстродвижущимся целям).

5. **Уравновешивающий механизм.** Этот механизм уравновешивает качающуюся часть орудия и тем самым облегчает работу наводчика при вертикальной наводке.

6. **Горизонтирующий механизм.** Назначение этого механизма — придавать орудию в целом или только вращающейся его части горизонтальное положение.

Горизонтирование орудия необходимо для обеспечения точности и быстроты наводки орудия в цель. Как правило, все зенитные пушки имеют горизонтирующие механизмы.

7. **Выравнивающий механизм.** Он обеспечивает возможность соприкосновения всех точек опоры с грунтом на неровной площадке. Кроме того, выравнивающий механизм служит для придания вертикального положения оси вращения верхнего станка относительно нижнего и обеспечения более равномерного распределения нагрузки при выстреле на все станины. В обычных полевых системах ограничиваются введением стержневой шарнирной связи нижнего станка с боевой осью. Наилучшим образом эти задачи решены при конструировании зенитного станка наших отечественных орудий.

8. **Механизм подрессоривания.** Этот механизм необходим для предохранения материальной части от разрушения при движении с большими скоростями.

Подрессоривание обычных полевых систем при выстреле обязательно должно быть выключено. У танков и самоходно-артиллерийских установок подрессоривание не выключается.

9. **Прицельные устройства** (включая панораму). Эти устройства являются самостоятельной частью орудия, не входящей в группу лафета. Вместе с подъемным и поворотным механизмами они служат для наводки орудия в цель.

10. **Щитовое прикрытие.** Оно предохраняет людей и материальную часть орудия от поражения пулями и осколками снарядов.

11. **Ход с боевой осью.** Ход, на который опирается станок при выстреле, называется боевым. Современные орудия, кроме зенитных и самоходных, имеют один боевой ход; если же имеется второй ход, то он является отдельной частью — передком, присоединяемым только для перевозки (при переходе в походное положение). У некоторых систем при переходе в боевое положение оба хода совсем отделяются от орудия. Почти все современные полевые орудия, кроме самоходно-артиллерийских установок, имеют колесные ходы, а гусеничные ходы в нашей артиллерии имеются у орудий большой мощности типа 203-*мм* гаубицы.

Преимущество гусеничного хода — высокая проходимость по пересеченной местности, а недостаток — сложность устройства.

Ход должен иметь тормозное устройство для торможения орудия на походе. Тормозы должны быть устроены так, чтобы их могли включать водитель из кабины тягача и люди, сидящие на орудии. Весьма желательно, чтобы боевой ход имел автоматические включатели тормоза на случай отрыва орудия от тягача.

12. **Механизмы крепления по-походному.** Эти механизмы надежно удерживают качающуюся и вращающуюся части орудия от перемещения относительно станка. Механизмы крепления по-походному предохраняют от ударных нагрузок ответственные поверхности поворотного и подъемного механизмов, благодаря чему орудие предохраняется от быстрого износа на

походе. На походе необходимо тщательно проверять, правильно ли производится включение и стопорение механизмов и целы ли их детали.

13. **Вспомогательные механизмы лафета.** К таким механизмам относятся:

— механизмы перевода системы из походного положения в боевое и обратно (в зенитной и тяжелой артиллерии);

— механизмы для быстрого перевода ствола в положение для заряжания без сбивания установки орудия;

— механизмы взаимной замкнутости, исключающие возможность стрельбы при неправильной или неполной сборке механизмов или при неправильном соединении агрегатов орудия (например, в 152-*мм* гаубице-пушке нельзя открыть или закрыть затвор до полного соединения ствола с противооткатными устройствами);

— механизмы, служащие для облегчения и удобства операций заряжания в тяжелых системах (краны, досылатели).

§ 8. СИЛЫ, ДЕЙСТВУЮЩИЕ ПРИ ВЫСТРЕЛЕ НА ОРУДИЕ С УПРУГИМ ЛАФЕТОМ

У орудия с упругим лафетом имеются две части: подвижная (откатные части) и неподвижная. Во время выстрела подвижная часть откатывается назад, а неподвижная остается на месте.

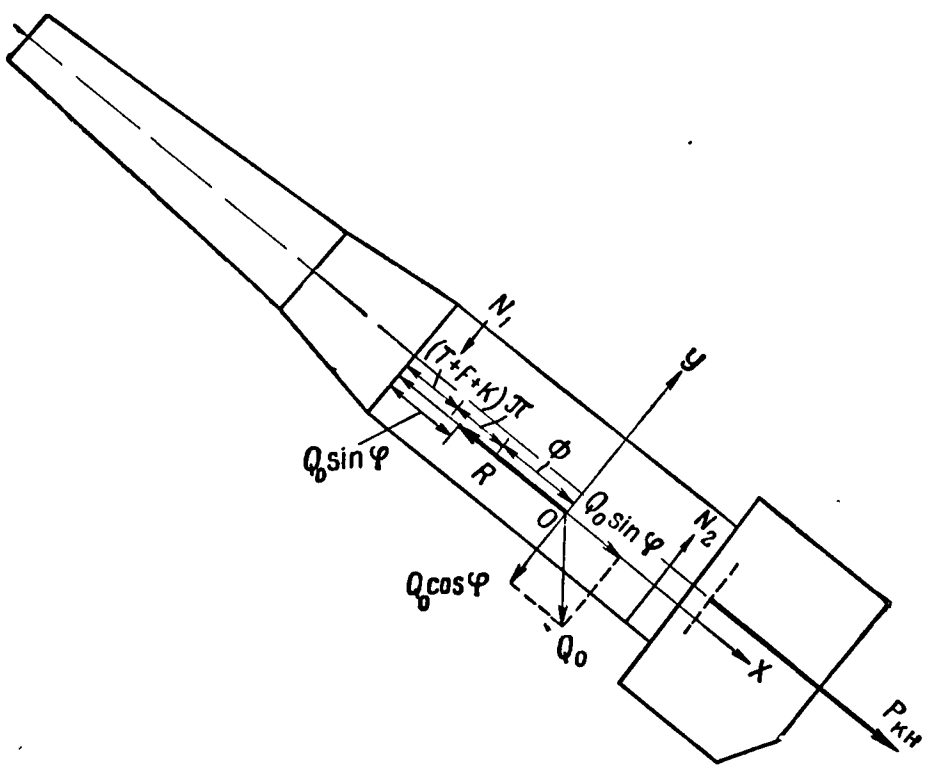


Рис. 79. Схема сил, действующих на откатные части орудия с упругим лафетом во время выстрела:
O — центр тяжести откатных частей

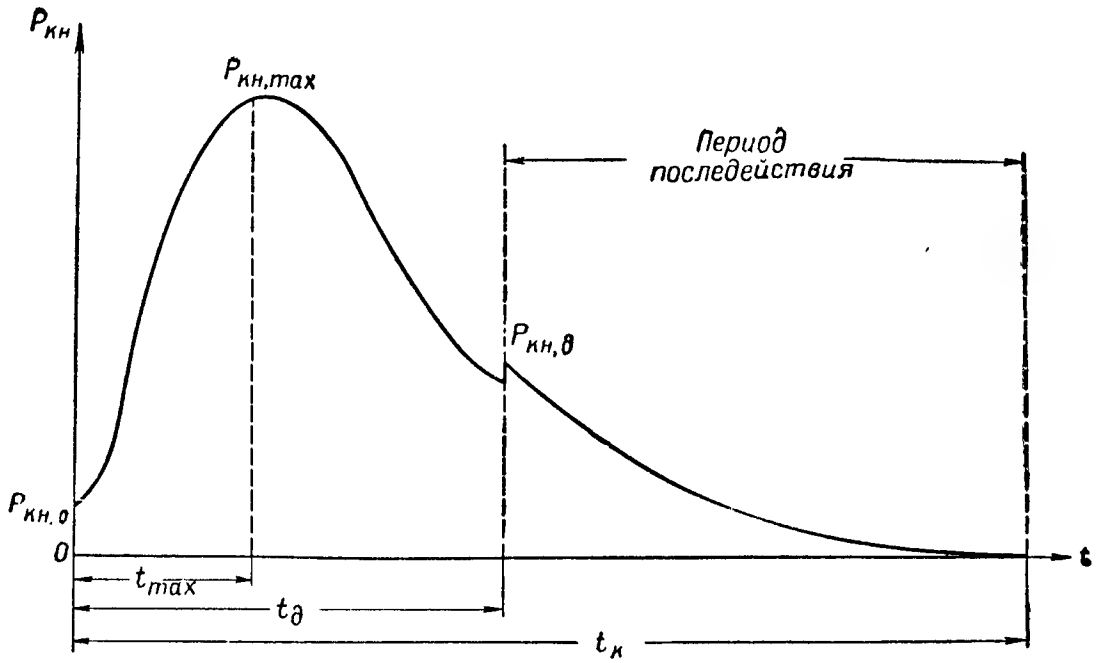


Рис. 80. Схема зависимости силы $P_{кн}$ от времени; $t_к$ — продолжительность периода действия газов на орудие

Рассмотрим действие сил на каждую часть орудия в отдельности.

Силы, действующие во время выстрела на откатные части орудия, показаны на рис. 79 и 81. Главной по величине силой является сила $P_{кн}$. Эта сила у орудия с упругим лафетом имеет почти такую же величину, как сила $P_{кн}$ у орудия с жестким лафетом при одинаковых условиях заряжания. Зависимость силы $P_{кн}$ от времени показана на рис. 80.

Если центр тяжести откатных частей Q_0 расположен на оси канала ствола, то сила $P_{кн}$ только толкает откатные части назад. Если центр тяжести откатных частей смещен от оси ствола на величину e, то появляется еще пара сил с моментом $P_{кн}e$, стремящаяся вращать откатные части. Эта пара называется динамической парой, а ее момент — динамическим моментом.

Сумма всех остальных сил, действующих на откатные части, кроме силы $P_{кн}$, называется сопротивлением откату. Эта сумма сил направлена параллельно оси канала ствола и обозначается буквой R. Величину силы R (сопротивления откату) устанавливают путем расчета, исходя из условий устойчивости орудия и торможения отката на определенном пути. Сила R складывается из сопротивлений тормоза отката, накатника и механизмов, взводимых энергией отката, из трений на направляющих поверхностях люльки и в уплотнениях противооткатных устройств и из составляющей веса откатных частей, параллельной оси канала ствола:

$$R = \Phi + П + T + F + K - Q_0 \sin\varphi,$$

где Φ — гидравлическое сопротивление тормоза отката;
$П$ — сила накатника;
T — трение на направляющих люльки, причем

$$T = fQ_0 \cos\varphi$$

(формула приближенная, без учета влияния момента $P_{кн}e$);
F — трение в уплотняющих устройствах тормоза и накатника;
K — сопротивление механизмов, приводимых в действие энергией отката;
$Q_0 \sin\varphi$ — составляющая веса откатных частей, параллельная оси канала ствола; знак минус перед $Q_0 \sin\varphi$ означает, что эта сила не тормозит откат, а, наоборот, ускоряет его при $\varphi > 0°$;
$Q_0 \cos\varphi$ — составляющая веса откатных частей, перпендикулярная оси канала ствола;
f — коэффициент трения на направляющих люльки.

Сила $Q_0 \cos\varphi$ и реакции N_1 и N_2 со стороны люльки на откатные части (см. рис. 79) являются перпендикулярными оси канала ствола; они взаимно уравновешиваются, так как откатные части не могут перемещаться в направлении, перпендикулярном оси канала ствола, а условием этого является

$$\Sigma Y = N_2 - N_1 - Q_0 \cos\varphi = 0.$$

Примечание. В теории лафетов принято допущение, что ствол во время выстрела движется без вращения параллельно направлению оси канала ствола, которое было до выстрела. А так как сила $P_{кн}$ параллельна оси канала ствола, то и сила R должна быть параллельна оси канала ствола. При этом допущении силы, действующие на откатные части в направлении, перпендикулярном оси канала ствола, должны взаимно уравновешиваться:

$$\Sigma Y = 0.$$

Поэтому силы, перпендикулярные оси канала ствола, в выражение для R не входят.

Все это вытекает из основ теоретической механики: направление равнодействующей всех сил, действующих на тело, которое находилось до этого в покое, совпадает с направлением движения центра тяжести тела; при этом сумма проекций сил на любое направление, отличающееся от направления движения тела, равна нулю.

Силы, действующие на неподвижные части лафета, показаны на рис. 81:
$R_{лаф}$ — сила, действующая со стороны откатных частей на неподвижные части;
$Q_б$ — вес орудия в боевом положении;
$N_{лб}$, $N_{хб}$, $T_{хб}$ — реакции грунта (опоры).

Сила $R_{лаф}$ равна и противоположна по направлению сопротивлению отката R (на основании закона механики: вся-

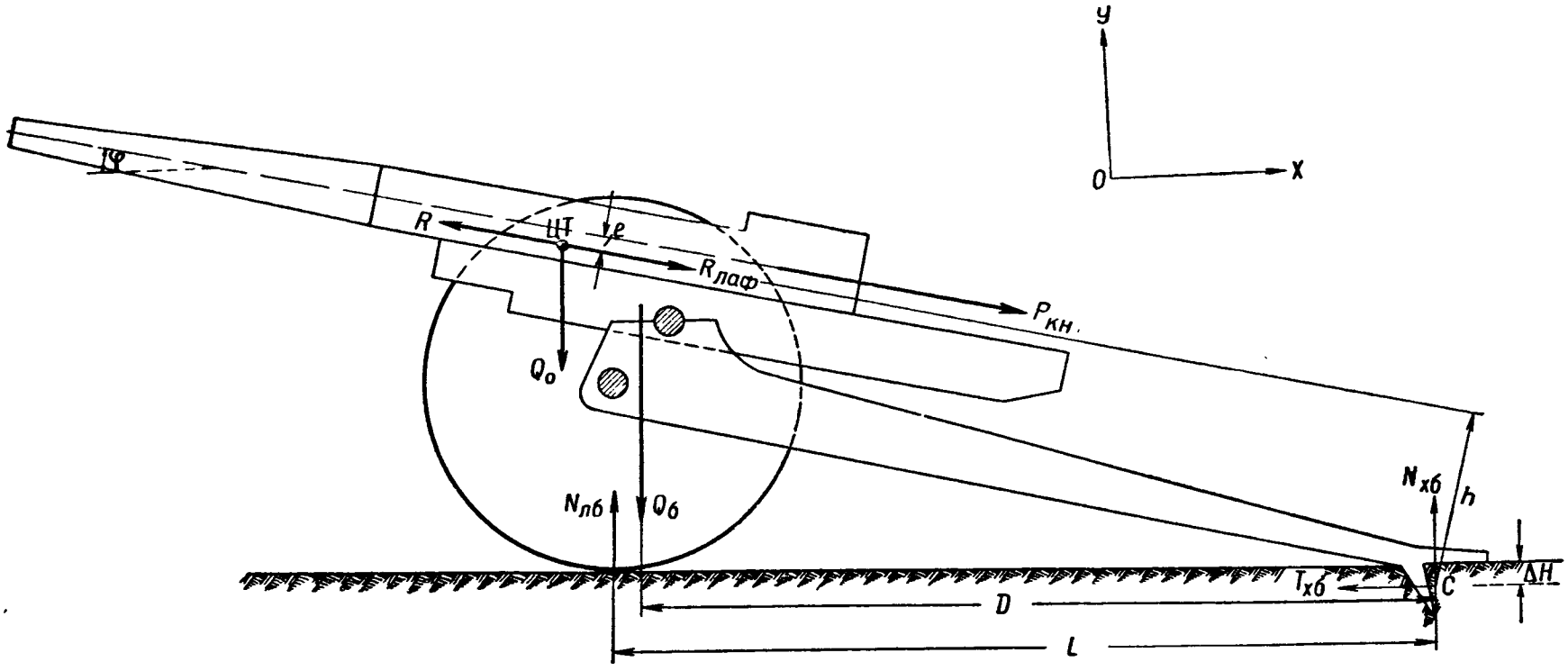


Рис. 81. Силы, действующие на откатные и неподвижные части орудия с упругим лафетом во время выстрела

кое действие вызывает равное по величине, но противоположное по направлению противодействие).

Сила $R_{лаф}$, действующая на неподвижные части лафета, направлена в сторону отката; она стремится толкать лафет назад и вращать орудие вокруг сошника; действие этой силы аналогично действию силы $P_{кн}$ на жесткий лафет. Сила $(R_{лаф})_{max}$ для орудия с упругим лафетом в десятки раз меньше силы $P_{кн,max}$, поэтому ее действие слабее действия силы $P_{кн}$ на жесткий лафет.

Часто $R_{лаф}$ обозначают через R (что и мы будем делать), но эти силы необходимо различать по направлению и по физическому смыслу.

Силы $N_{лб}$, $N_{хб}$ и $T_{хб}$ во много раз меньше подобных сил, действующих на орудие с жестким лафетом, так как благодаря упругим связям на лафет вместо силы $P_{кн}$ непосредственно действует сила $R_{лаф}$.

§ 9. УСЛОВИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ПРИ ВЫСТРЕЛЕ ОРУДИЯ С УПРУГИМ ЛАФЕТОМ

Орудие называется устойчивым, если оно не вращается при выстреле. Для сохранения устойчивости необходимо, чтобы в течение всего времени отката сумма моментов всех сил, действующих на орудие, относительно любой точки была равна нулю.

При отсутствии устойчивости орудие обычно вращается вокруг горизонтальной оси, проходящей через центр тяжести опорной поверхности сошника (на рис. 81 и 82 точка C).

При вполне устойчивом положении орудие опирается на основание в течение всего времени отката не только сошником, но и колесами, и реакция грунта на колеса ($N_{лб}$) будет направлена вертикально вверх, т. е. в этом случае $N_{лб} > 0$.

Пределом устойчивости называется такое соотношение действующих на орудие сил, при котором орудие не вращается ($\Sigma M_c = 0$) и не давит колесами на грунт, т. е. когда

$$N_{лб} = 0.$$

Итак, условие предела устойчивости орудия при выстреле может быть записано в виде следующего выражения в зависимости от моментов сил, действующих на неподвижные части орудия, относительно точки C (см. рис. 81):

$$\Sigma M_c = Rh + P_{кн}e - Q_б D = 0.$$

В уравнении для ΣM_c переменными в течение данного выстрела являются $P_{кн}$, D и R. Плечо силы R, т. е. величина h изменяется с изменением угла возвышения (рис. 82).

Обычно центр тяжести откатных частей расположен немного ниже оси канала ствола. В этом случае динамическая пара (с моментом $P_{кн}e$) будет стремиться вращать ствол дульной частью кверху. Действие момента пары $P_{кн}e$ через люльку лафета полностью передается на неподвижные части орудия.

Примечание. Динамическая пара (с моментом $P_{кн}e$) возникает благодаря наличию плеча (e) для силы $P_{кн}$ относительно центра тяжести откатных частей, на которые эта сила непосредственно действует.

Если центр тяжести откатных частей расположен выше оси канала ствола, то момент динамической пары переменит свой знак и будет стремиться вращать ствол дульной частью книзу, т. е. в этом случае момент будет увеличивать устойчивость орудия.

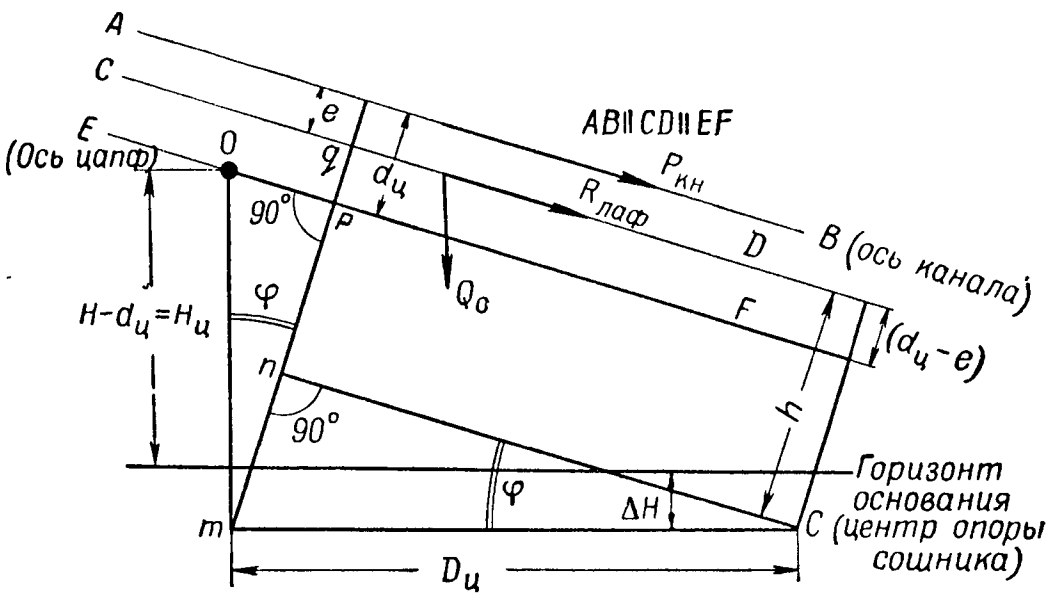


Рис. 82. Зависимость плеча h силы R от конструктивных размеров лафета и угла возвышения

Момент силы R относительно точки C, т. е. Rh, с изменением угла возвышения не только изменяется по величине в зависимости от плеча h, но также может переменить свой знак, так как при небольших углах возвышения $Rh>0$, а при больших углах, когда линия действия силы R проходит между опорами колес и сошника, $Rh<0$. В последнем случае величина плеча h становится отрицательной.

Итак, очевидно, что устойчивость будет наименьшая при расположении центра тяжести откатных частей ниже оси канала ствола и во время стрельбы с наибольшим плечом h, т. е. при наименьшем угле возвышения.

Из трех моментов сил, действующих на неподвижные части орудия, только один ($Q_б D$) при всех углах возвышения препятствует вращению орудия вокруг точки C, поэтому мо-

мент силы веса системы $Q_б D$ называется стабилизирующим моментом. Отсюда вытекает, что основными способами увеличения устойчивости при выстреле (кроме уменьшения плеча e) являются увеличение веса системы $Q_б$ и увеличение плеча этой силы относительно точки C.

Для надежной устойчивости орудия стабилизирующий момент должен быть всегда больше суммы остальных моментов

$$Q_б D > Rh + P_{кн} e \text{ (условие устойчивости).}$$

Значение силы R, соответствующее уравнению $\sum M_c = 0$ при $N_{лб} = 0$, называется предельно возможным сопротивлением откату и обозначается $R_{пр}$:

$$R_{пр} = \frac{Q_б D - P_{кн} e}{h}.$$

Для надежной устойчивости орудия, с учетом возможных изменений условий стрельбы и состояния противооткатных устройств во время боевой эксплуатации, при расчете принимают допустимое значение силы R, которое меньше $R_{пр}$ не менее чем на 10%:

$$R_{допустимое} \leq \frac{R_{пр}}{1{,}1}.$$

Проследим за характером изменения величин, входящих в уравнение для $R_{пр}$.

Момент $Q_б D$ во время отката убывает за счет перемещения откатных частей к точке опоры (C), так как плечо D уменьшается.

Текущее значение $Q_б D$ для любого момента отката определяется выражением

$$Q_б D = Q_б D_0 - Q_0 X \cos\varphi,$$

где D_0 — плечо силы $Q_б$ относительно точки C до выстрела;
X — перемещение откатных частей.

Величина $P_{кн}$ изменяется пропорционально давлению газов в стволе (P), и этот характер изменения вполне определяется решением задачи внутренней баллистики.

Плечо h силы R в общем виде определяется следующим выражением (см. рис. 82):

$$h = (H - d_ц + \Delta H)\cos\varphi - D_ц \sin\varphi + d_ц - e$$

или

$$h = Om \cdot \cos\varphi - D_ц \sin\varphi + (d_ц - e),$$

где H — высота линии огня — расстояние по вертикали между осью канала ствола при $\varphi = 0°$ и основанием, на котором установлено орудие ($H = H_ц + d_ц$);

ΔH — расстояние от горизонта по вертикали до центра тяжести опорной поверхности сошника (ΔH равно примерно половине высоты сошника);

$D_ц$ — расстояние по горизонту от точки C (центр опоры сошника) до вертикальной линии в плоскости стрельбы, проходящей через ось цапф люльки;

$d_ц$ — расстояние между осью канала ствола и осью цапф.

Очевидно, что $h = h_{max}$ при $\varphi = \varphi_{min}$.

Если

$$\varphi_{min} = 0°,$$

то

$$h_{max} = H + \Delta H - e = h_0 \text{ и } h_0 = h \text{ при } \varphi = 0°.$$

Из формулы $R_{пр} = \frac{Q_б D - P_{кн} e}{h}$ видно следующее:

1) наименьшее значение силы $R_{пр}$ в зависимости от плеча h будет при наибольшем h, т. е. при наименьшем угле возвышения $\varphi = \varphi_{min}$;

2) наименьшее значение силы $R_{пр}$ в зависимости от $P_{кн}e$ при $P_{кн}e > 0$ будет в момент наибольшего давления газов, т. е. при $P_{кн} = P_{кн,max}$;

3) наименьшее значение силы $R_{пр}$ в зависимости от плеча D при данном угле возвышения будет при $D = D_{min}$, т. е. в конце отката.

Общий вывод. Для определения наименьших значений величины $R_{пр}$, допускаемых условиями устойчивости, необходимо вычислить два значения $R_{пр}$ при $\varphi = \varphi_{min}$: 1) для $P_{кн} = P_{кн,max}$ и 2) для $D = D_{min}$ (конец отката).

Из практики известно, что у полевых систем $\varphi_{min} \approx 0°$.

Исследование значения X показывает, что для момента $P_{кн} = P_{кн,max}$

$$X \approx 0 \text{ и } D \approx D_0.$$

Поэтому наименьшие значения силы R, допустимые условиями устойчивости, определяются формулами (для $\varphi = 0°$):

а) для момента $P = P_{max}$

$$R_{пр} = \frac{Q_б D_0 - P_{кн,\,max} e}{h_0},$$

б) для момента конца отката

$$R_{пр} = \frac{Q_б D_0 - Q_0 \lambda}{h_0},$$

где $h_0 = H + \Delta H - e$ и λ — длина отката.

Допустимое значение силы сопротивления откату для любого угла возвышения и для любого значения пути отката в общем виде определяется выражением

$$R_{\text{доп}} = \frac{R_{\text{пр}}}{m} = \frac{Q_6 D_0 - Q_0 X \cos\varphi}{mh} - \frac{P_{\text{кн}} e}{mh},$$

где m — коэффициент запаса устойчивости (берется не менее 1,1).

Иногда для увеличения устойчивости рекомендуют брать $R_{\text{доп}}$ по формуле

$$R_{\text{доп}} = \frac{Q_6 D_0 - Q_0 X \cos\varphi}{mh} - \frac{P_{\text{кн}} e}{h},$$

при этом величина $R_{\text{доп}}$ получается еще меньше.

§ 10. О ПРЕДЕЛЬНОМ УГЛЕ УСТОЙЧИВОСТИ ОРУДИЯ С УПРУГИМ ЛАФЕТОМ ПРИ ВЫСТРЕЛЕ

Предельным углом устойчивости орудия при выстреле называется такой наименьший угол возвышения $\varphi_{\text{пр}}$, при котором данное орудие (с определенной длиной отката и определенным законом изменения силы сопротивления откату R) остается еще устойчивым.

Предельный угол устойчивости орудия можно установить практически стрельбой на полигоне или теоретически построением специального графика.

Стрельба ведется при разных постепенно убывающих углах возвышения. Начинается стрельба при угле возвышения, обеспечивающем заведомо устойчивое положение орудия, и заканчивается при угле возвышения, при котором будет обнаруживаться неустойчивое положение. Наименьший угол возвышения, при котором орудие остается вполне устойчивым, и будет предельным углом устойчивости. Стрельба проводится при наибольшем табличном заряде.

Предельный угол устойчивости при стрельбе бронебойными снарядами проверяется отдельно.

Для графического определения предельного угла устойчивости орудия (имеющегося или спроектированного) прежде всего вычисляют наибольшее значение плеча h для силы R из условий устойчивости для двух моментов отката:

а) для момента наибольшего давления газов

$$h_{\max} = \frac{Q_6 D_0 - P_{\text{кн, max}} e}{R_{\max}};$$

б) для конца отката

$$h_\lambda = \frac{Q_6 D_0 - Q_0 \lambda \cos\varphi}{R_\lambda}.$$

Меньшее из двух вычисленных значений h принимают за наиболее допустимое $h_{пред}$, соответствующее предельному углу устойчивости.

Затем строят в произвольном масштабе схему орудия, как показано на рис. 83. Вокруг центра опоры сошника (точка C) проводят окружность радиусом, равным $h_{пред}$. Вокруг оси цапф проводят окружность радиусом $(d_ц - e)$, где $d_ц$ — расстояние от оси цапф люльки до оси канала ствола и e — плечо динамической пары. Касательная AB к построенным двум окружностям должна быть параллельна оси канала ствола при предельном угле возвышения. Угол между касательной и горизонтом будет предельным углом устойчивости ($\varphi_{пред}$).

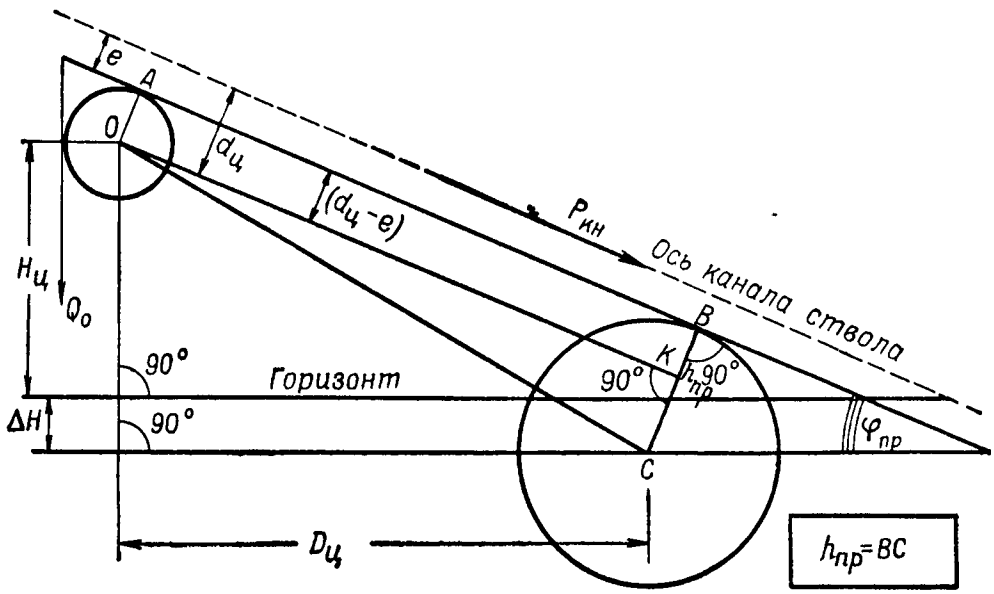


Рис. 83. Схема для определения $\varphi_{пр}$

Если ось цапф люльки выше оси канала ствола, то касательная должна проходить через точку в нижней половине окружности радиуса $(d_ц + e)$.

Если предельный угол устойчивости меньше наименьшего угла возвышения, то это значит, что орудие вполне устойчиво.

Рассмотрим, какая величина предельного угла устойчивости ($\varphi_{пред}$) является необходимой.

Для всех полевых пушек и гаубиц желательно иметь $\varphi_{пред}$ около 0°.

Для противотанковых, полковых и дивизионных пушек, которым в первую очередь придется отражать нападение неприятельских танков, величина $\varphi_{пред}$ должна быть меньше 0°, она должна доходить до 5—10° склонения.

Для горных пушек величина $\varphi_{пред}$ должна быть не менее 15° склонения.

На практике указанное требование не всегда выполняется в связи с тем, что нежелательно увеличивать вес орудия, поэтому величина $\varphi_{пред}$ оказывается больше 0°.

Для мощных дальнобойных пушек, гаубиц и мортир при стрельбе полным зарядом допустимо иметь $\varphi_{пред}$ более 0°. Для гаубиц и мортир $\varphi_{пред}$ может доходить до 20—30° при полном заряде.

Для минометов $\varphi_{пред}$ определяется из условия неподвижности и практически равняется 45°.

Орудие, подпрыгивающее во время выстрела, может давать хорошую кучность и меткость; однако при подпрыгивании орудия сбивается наводка и уменьшается практическая скорострельность.

Орудия могут терять устойчивость во время стрельбы вследствие резкого увеличения давления газов в канале ствола, неисправности противооткатных устройств, загрязнения направляющих и неисправности деталей противооткатных устройств или люльки.

§ 11. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕАКЦИЙ ОПОРЫ НА НЕПОДВИЖНЫЕ ЧАСТИ ЛАФЕТА — НА КОЛЕСА И НА СОШНИК

Составим уравнения условий равновесия лафета во время выстрела (рис. 81):

$$\sum X = R\cos\varphi - T_{хб} = 0;$$

$$\sum Y = N_{лб} + N_{хб} - Q_б - R\sin\varphi = 0;$$

$$\sum M_c = Rh + P_{кн}e - Q_бD + N_{лб}L = 0.$$

Наибольшее значение $T_{хб}$ будет при $\varphi = 0°$.

Из $\sum X$ получим

$$T_{хб,\ max} = R_{max}.$$

Сила $N_{лб}$ определяется выражением (из $\sum M_c$)

$$N_{лб} = \frac{Q_бD - Rh - P_{кн}e}{L}.$$

Наибольшее значение $N_{лб}$ будет при $P_{кн}\ e = 0$ и наименьшем h (если момент Rh переменит свой знак, то нужно брать наибольшее значение его после перемены знака). Следовательно, при наибольшем угле возвышения после спада давления газов, если $e > 0$, выражение для $N_{лб}$ будет иметь вид

$$N_{лб,\ max} \approx \frac{Q_бD - Rh}{L} \text{ при } \varphi = \varphi_{max},$$

$$N_{хб} = Q_б + R\sin\varphi - N_{лб}.$$

Вычислять $N_{хб}$ нужно при $\varphi = \varphi_{max}$.

Плечо h точно определяется по формуле

$$h = (H + \Delta H - d_ц)\cos\varphi - D_ц\sin\varphi + d_ц - e.$$

§ 12. ВЫЧИСЛЕНИЕ НЕОБХОДИМОГО ВЕСА ОРУДИЯ С УПРУГИМ ЛАФЕТОМ В БОЕВОМ ПОЛОЖЕНИИ ПРИ УЧЕТЕ УСЛОВИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ЕГО ВО ВРЕМЯ ВЫСТРЕЛА

Покажем на примере, как производится вычисление необходимого веса орудия.

Найдем $Q_б$ для орудия с упругим лафетом и сравним эту величину с $Q_б$, найденным ранее для орудия с жестким лафетом.

Дано:

$d = 76$ *мм*; $R = 4000$ *кг*;

$S = 46$ *см*^{2}; $\varphi_{max} = 45°$;

$P_{max} = 2500$ *кг/см*^{2}; $\Delta H = 0{,}15$ *м*;

$L = 2{,}7$ *м*; $D_ц = 2{,}6$ *м*;

$H = 1$ *м*; $d_ц = 0$.

$e = 0$;

$\varphi_{пред} = 0°$;

$D_0 = 2{,}5$ *м*.

(Ряд данных приведен для решения других задач.)

Найдем приближенное значение $Q_б$ при $\Delta H \approx 0$ и $\varphi = 0°$.

Исходная формула $Q_б > \frac{RH + P_{кн}e}{D}$ в данном случае примет вид

$$Q_б > \frac{RH}{D_0} = \frac{4000 \cdot 1}{2{,}5} = 1600 \text{ кг}.$$

Для жесткого лафета $Q_б = 46000$ *кг*.

§ 13. ВЫЧИСЛЕНИЕ РЕАКЦИИ НА КОЛЕСА И СОШНИК ОРУДИЯ С УПРУГИМ ЛАФЕТОМ

Для той же дивизионной пушки (данные приведены в § 12) найдем наибольшие значения $T_{хб}$, $N_{лб}$, $N_{хб}$.

Р е ш е н и е.

Определим $T_{хб,max}$ (при $\varphi = 0$), пользуясь расчетной формулой

$$T_{хб,\,max} = R;$$

$$T_{хб,\,max} = 4000 \text{ кг}.$$

Определим $N_{лб,max}$ по расчетной формуле

$$N_{лб,\,max} = \frac{Q_б D_0 - Rh_{mfn}}{L},$$

где

$$h_{min} = H' \cos \varphi_{max} - D_{ц} \sin \varphi_{max} + d_{ц} - e$$

и

$$H' = H + \Delta H - d_{ц}.$$

Вычисления:

$$h_{min} = 1{,}15 \cdot 0{,}71 - 2{,}6 \cdot 0{,}71 = -1{,}03 \ м.$$

$$N_{лб\ max} = \frac{1600 \cdot 2{,}5 + 4000 \cdot 1{,}03}{2{,}7} = 3000 \ кг.$$

Определяем $N_{хб}$ по расчетной формуле

$$N_{хб} = Q_{б} + R \sin \varphi - N_{лб} \text{ при } \varphi = \varphi_{max};$$

$$N_{хб} = 1600 + 4000 \cdot 0{,}71 - 3000 = 1440 \ кг.$$

Вывод из примеров. 1. Результаты вычислений, приведенных в § 12 и 13, наглядно показывают огромное преимущество орудия с упругим лафетом по сравнению с орудием с жестким лафетом.

2. Сила реакции грунта на колеса $N_{лб}$ в течение выстрела резко меняется, что вызывает значительные деформации резиновых шин колес лафета. Все это приводит к значительным колебаниям орудия и вызывает неудобство в обслуживании орудия. Поэтому целесообразно при стрельбе лобовую часть орудия опирать не на колеса, а на специальные металлические опоры, не дающие больших деформаций при стрельбе.

Глава III

СВОБОДНЫЙ ОТКАТ

§ 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СВОБОДНОГО ОТКАТА

Свободным откатом называется движение откатных частей орудия под действием силы $P_{кн}$ без учета сил, тормозящих это движение (без учета сопротивления откату).

Практически это равнозначно движению ствола, положенного свободно на горизонтальную тщательно отполированную поверхность (коэффициент трения пренебрежимо мал). Изучение свободного отката необходимо для упрощения исследования сложного явления отката под действием всех сил. Суть упрощения — исследование сложного явления по частям, т. е. сначала учитывается действие силы $P_{кн}$, а затем дополнительно учитываются все силы, тормозящие движение откатных частей.

§ 2. ЗАВИСИМОСТЬ МЕЖДУ ЭЛЕМЕНТАМИ ДВИЖЕНИЯ СНАРЯДА И ОТКАТНЫХ ЧАСТЕЙ

Обозначим элементы движения (для любого момента движения):

L — путь свободного отката,
W — скорость свободного отката,
x — абсолютный путь снаряда,
w — абсолютная скорость снаряда,
z — абсолютный путь центра тяжести заряда,
u — абсолютная скорость центра тяжести заряда.

При выводе зависимостей будем делать следующие допущения:

1. Камора цилиндрическая, поперечное сечение которой равно сечению канала ствола в области полного профиля нарезов, т. е. вместо действительной каморы будем брать в расчет приведенную камору, как при решении задачи внутренней баллистики.

2. Заряд равномерно распределен по всему заснарядному пространству, т. е. центр тяжести заряда постоянно находится на середине расстояния между дном снаряда и дном приведенной каморы.

Схема движения ствола, снаряда и заряда дана на рис. 84. На этом рисунке q, ω и Q_0 показывают положение центров тяжести снаряда, заряда и откатных частей до выстрела; $\bar{q}$, $\bar{\omega}$ и $\bar{Q}_0$ показывают положение этих же центров тяжести в один из текущих моментов движения.

До начала отката центр тяжести заряда находится на середине каморы, т. е. на удалении от дна каморы, равном $\frac{l_0}{2}$.

В любой момент движения ствола длина заснарядного пространства равна $(l_0 + x + L)$, а центр тяжести заряда находится посредине заснарядного пространства, т. е. на удалении от дна каморы на величину $\frac{l_0 + x + L}{2}$.

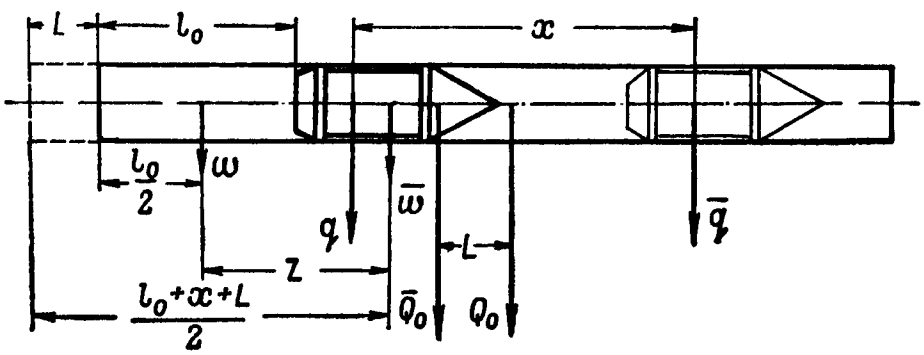


Рис. 84. Схема движения ствола, заряда и снаряда во время выстрела

При откате ствола на величину L абсолютное перемещение центра тяжести заряда z может быть выражено следующей формулой:

$$z = \frac{l_0 + x + L}{2} - L - \frac{l_0}{2} = \frac{x - L}{2}.$$

Это выражение верно для любого момента движения до вылета снаряда. Так как пути прямо пропорциональны скоростям, то отсюда следует, что и между скоростями движения данных тел сохраняется та же пропорциональность, т. е.

$$u = \frac{w - W}{2}.$$

Чтобы исключить элементы движения заряда, воспользуемся законами движения системы тел под действием только внутренних сил (если эта система была в покое до начала действия внутренних сил):

1. Центр тяжести системы сохраняет постоянное положение в пространстве во все время действия внутренних сил.

2. Сумма количеств движения системы тел, находящихся под действием только внутренних сил, в любом направлении равна нулю.

Эти законы применительно к орудию (система тел состоит из орудия, снаряда и заряда) имеют следующие выражения:

$$qx + \omega z = Q_0 L,$$

$$\frac{q}{g} w + \frac{\omega}{g} u = \frac{Q_0}{g} W$$

или

$$qw + \omega u = Q_0 W.$$

Подставляя в эти формулы вместо z и u их выражения, получим

$$L = \frac{q + 0{,}5\omega}{Q_0 + 0{,}5\omega} x \text{ и } W = \frac{q + 0{,}5\omega}{Q_0 + 0{,}5\omega} w.$$

Для замены абсолютных значений скорости и пути снаряда относительными воспользуемся формулами

$$l = x + L \text{ и } v = w + W,$$

откуда

$$x = l - L,$$

$$w = v - W.$$

Подставив эти выражения в формулы для L и W, получим

$$L = \frac{q + 0{,}5\omega}{Q_0 + q + \omega} l;$$

$$W = \frac{q + 0{,}5\omega}{Q_0 + q + \omega} v.$$

Отношение $\frac{q + 0{,}5\omega}{Q_0 + q + \omega}$ для данного выстрела остается неизменным, т. е. скорости и пути откатных частей прямо пропорциональны скоростям и путям снаряда во все время движения снаряда по каналу ствола.

Следовательно, если известна зависимость пути и скорости снаряда (т. е. если решена основная задача внутренней баллистики), то легко найти величину пути и скорости отката для любого момента движения снаряда по каналу ствола. Наиболее удобно эту задачу решать при помощи Таблиц внутренней баллистики, изд. ГАУ.

Учитывая, что для обычных орудий величины $(Q_0 + q + \omega)$ и $(Q_0 + q)$ отличаются одна от другой незначительно, расчет свободного отката часто ведут по формулам:

$$L = \frac{q + 0{,}5\omega}{Q_0 + q} l$$

и

$$W = \frac{q + 0{,}5\omega}{Q_0 + q} v.$$

Путь свободного отката и скорость откатных частей в момент вылета снаряда определяются по формулам:

$$L_д = \frac{q + 0{,}5\omega}{Q_0 + q} l_д$$

и

$$W_д = \frac{q + 0{,}5\omega}{Q_0 + q} v_0.$$

Из последней формулы видно, что чем больше вес откатных частей Q_0, тем меньше скорость и энергия отката. Это выгодно, так как для торможения откатных частей потребуется меньшая работа.

§ 3. СВОБОДНЫЙ ОТКАТ ВО ВРЕМЯ ПЕРИОДА ПОСЛЕДЕЙСТВИЯ ГАЗОВ

А. Определение наибольшей скорости свободного отката

Вышеуказанные зависимости между элементами движения свободного отката справедливы только до момента вылета снаряда из канала ствола. С момента вылета снаряда процесс работы пороховых газов резко изменяется — наступает период последействия газов.

Точное решение задачи по определению элементов свободного отката в период последействия газов весьма сложно, поэтому на практике часто пользуются приближенными формулами.

В качестве исходной величины, характеризующей работу газов в период последействия, берут скорость отката в конце последействия.

Для свободного отката это будет наибольшая скорость, обозначаемая W_{max} или W_k.

Простейшей весьма распространенной до сих пор опытной формулой для определения величины W_{max} является

$$W_{max} = \frac{q + \beta\omega}{Q_0} v_0$$

при

$$\beta = \frac{1300}{v_0}.$$

Этой формулой обычно пользуются, если начальная скорость (v_0) не превышает 700 *м/сек*.

Для начальных скоростей более 700 *м/сек* приближенная формула для β имеет вид

$$\beta = 0{,}15 + \frac{1400}{v_0}.$$

Число β называется коэффициентом последействия газов. Коэффициент β показывает, во сколько раз средняя скорость истечения всех газов из канала ствола больше начальной скорости снаряда.

Выясним физическую сущность коэффициента последействия газов β.

Так как до выстрела ствол, заряд и снаряд находились в покое и их движение при выстреле было вызвано внутренними силами — силами действия пороховых газов, то количество движения системы в конце истечения газов (без учета действия силы сопротивления откату) должно равняться нулю.

$$\sum mv = \frac{q}{g} v_0 - \frac{Q_0}{g} W_{\max} + \frac{\omega}{g} u_{\text{ср}} = 0,$$

где $u_{\text{ср}}$ — средняя скорость истечения газов.

Поэтому

$$W_{\max} = \frac{qv_0 + \omega u_{\text{ср}}}{Q_0} = \frac{q + \frac{u_{\text{ср}}}{v_0}\omega}{Q_0} v_0.$$

Сравнивая две формулы для $W_{\max}$, получим

$$\beta = \frac{u_{\text{ср}}}{v_0}.$$

Итак, коэффициент последействия газов β показывает, во сколько раз средняя скорость истечения газов в направлении, параллельном оси канала ствола, больше начальной скорости снаряда. Очевидно, что β больше единицы (для орудий без дульного тормоза).

Б. Закон изменения давления в канале ствола во время последействия газов

В течение полувека в теории лафетов был принят простейший закон изменения давления газов в канале ствола в период последействия (предложенный Р. А. Дурляховым) — давление

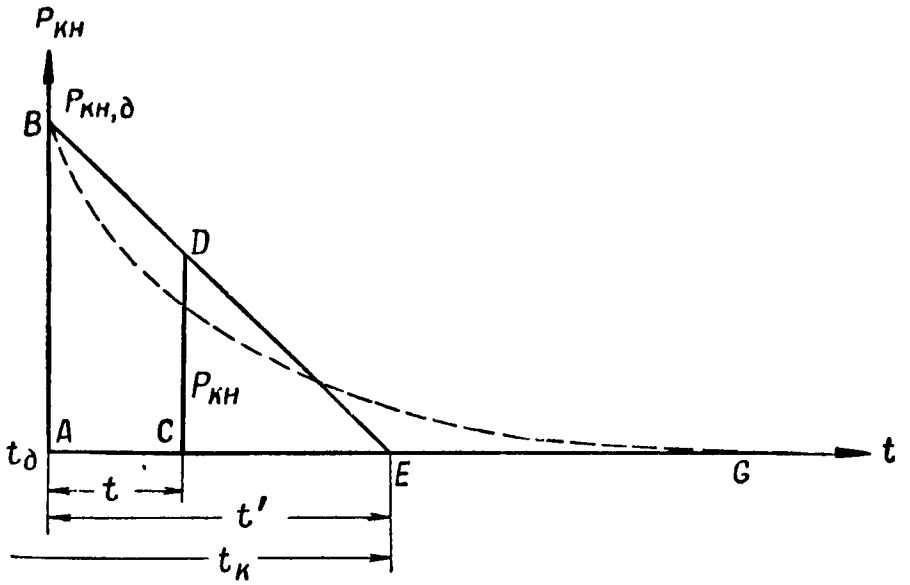


Рис. 85. Схема изменения давления газов в канале ствола во время периода последействия

падает по прямой в зависимости от времени с момента вылета снаряда, т. е. (рис. 85 и 86)

$$P_{кн} = P_{кн,д} \frac{t' - t}{t'},$$

где t' — продолжительность периода последействия.

Теоретические и экспериментальные исследования зависимости давления от времени показывают, что в действительности падение давления происходит вначале более прогрессивно, а затем менее прогрессивно (на рис. 85 показано пунктиром). Продолжительность периода последействия при этом получается (AG) больше, чем при гипотезе прямолинейного падения давления (AE). Точное исследование работы пороховых газов в период их последействия произведено профессорами Слухоцким В. Е. и Толочковым А. А. Однако следует отметить, что для приближенных расчетов лафетов можно пользоваться и законом Дурляхова.

В. Продолжительность периода последействия газов

Продолжительность периода последействия газов (t') определяется на основании закона теоретической механики: импульс силы, т. е. произведение среднего значения силы на время ее действия, равен приращению количества движения, сообщенному телу за время действия этой силы (рис. 86).

Согласно указанному закону механики

импульс силы $P_{кн}$ за время последействия газов	$=$	$\frac{Q_0 W_{max}}{g} - \frac{Q_0 W_д}{g}$

Среднее значение силы $P_{кн}$ за время последействия газов равно $\frac{P_{кн,\,д}}{2}$ (по закону Дурляхова).

Величина импульса силы $P_{кн}$ за время последействия t' изображается площадью треугольника с основанием, равным t', и высотой, равной $P_{кн,\,д}$, или силе $P_{кн}$ в момент вылета снаряда, т. е.

импульс силы $P_{кн}$ за время последействия газов	$=$	$\frac{P_{кн,\,д} \cdot t'}{2}$

Из двух предыдущих равенств получим

$$t' = \frac{2Q_0 (W_{max} - W_д)}{gP_{кн,\,д}},$$

где

$$P_{кн,\,д} = P_д S.$$

Если вместо W_{max} и $W_д$ проставить их значения

$$W_{max} = \frac{q + \beta\omega}{Q_0} v_0 \quad \text{и}$$

$$W_д = \frac{q + 0{,}5\omega}{Q_0 + q} v_0 \approx \frac{q + 0{,}5\omega}{Q_0} v_0,$$

то получим

$$t' = \frac{2\omega (\beta - 0{,}5) v_0}{gP_{кн,\,д}}.$$

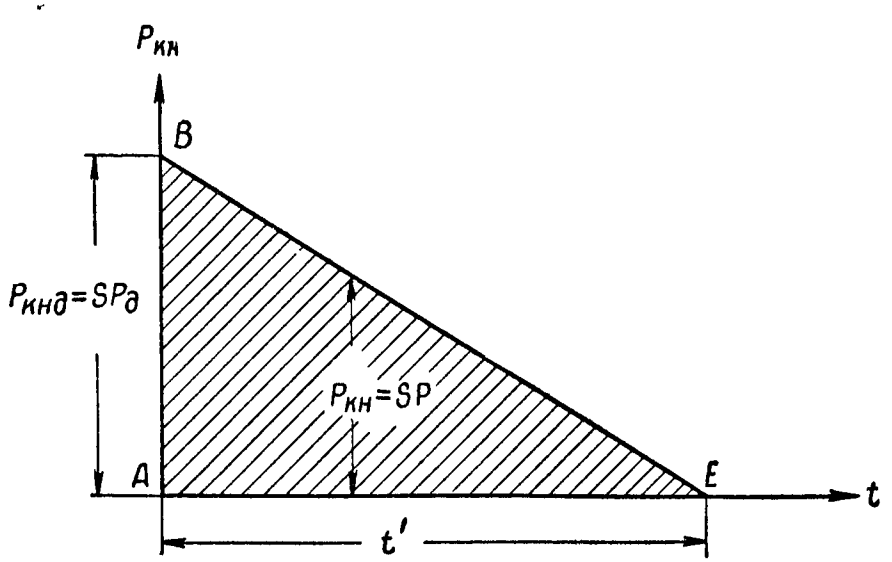


Рис. 86. Продолжительность периода последействия

Г. Путь отката к концу периода последействия газов

Из механики известно, что путь X, проходимый телом только под действием силы P, убывающей прямолинейно в зависимости от времени от наибольшего значения P_0 до нуля, к концу действия силы равен

$$X = \frac{P_0 g}{Q} \cdot \frac{t'^2}{3},$$

где P_0 — начальное, наибольшее значение силы;
Q — вес тела;
g — ускорение силы тяжести;
t' — время действия силы, убывающей от P_0 до 0;
X — путь, пройденный телом за все время действия переменной силы.

Если тело до начала действия переменной силы имело какую-то скорость, то оно за это же время t' пройдет дополнительный путь, равный произведению предварительной скорости на время действия силы.

Применяя все вышесказанное к движению откатных частей, получим

$$L_к = L_д + W_д t' + \frac{g P_{кн.д}}{Q_0} \cdot \frac{t'^2}{3},$$

где $L_к$ — полный путь свободного отката к концу периода последействия газов.

Д. О расхождении между величинами пути и скорости торможенного (действительного) и свободного отката во время выстрела

Величины пути и скорости свободного отката до момента вылета снаряда отличаются от действительных величин пути и скорости торможенного отката. Обычно пути и скорости торможенного отката меньше путей и скоростей свободного отката на 2,5—5%.

В период последействия газов действительные элементы торможенного отката на 5—10% меньше элементов свободного отката.

Следовательно, формулами свободного отката можно пользоваться для приближенного расчета движения ствола в течение периодов времени действия и последействия газов.

§ 4. ДЕЙСТВИЕ ДУЛЬНЫХ ТОРМОЗОВ

А. Назначение и сущность действия дульного тормоза

Назначение дульного тормоза — уменьшить энергию отката, чтобы можно было изготовить орудие небольшого веса при большой дульной энергии с небольшой длиной отката и надежной устойчивостью при выстреле.

Дульный тормоз влияет на процесс работы пороховых газов после вылета снаряда из канала ствола (в период последействия). У орудия без дульного тормоза все газы вылетают из канала ствола вперед. При этом реакция истекающих газов толкает ствол назад, увеличивая энергию отката. Дульный тормоз не позволяет газам свободно выходить из ствола после вылета снаряда, а заставляет значительную часть их идти по определенным направлениям через специальные окна, в результате чего происходит торможение отката, т. е. уменьшение энергии отката.

Русские артиллеристы еще в середине XIX в. изобрели дульный тормоз. В 1862 г. 3-пудовая бомбовая пушка обр. 1838 г. имела дульный тормоз — в дульной части ствола этой пушки было восемь окон, наклоненных к оси канала ствола под углом 45°. Это свидетельствует о том, что уже в то время наши артиллеристы хорошо понимали сущность процессов, происходящих в стволе при выстреле, а также сущность действия выстрела на орудие и умели правильно решать задачи, связанные с повышением боевых свойств артиллерии.

С изобретением дульного тормоза была решена задача уменьшения длины отката всего орудия на жестком лафете, но один дульный тормоз не мог обеспечить неподвижность лафета при выстреле.

Кроме того, истечение газов через дульный тормоз назад при коротких стволах и открытых орудиях (без щитового прикрытия) не было безопасным для орудийного расчета. Этим объясняется малый успех первых дульных тормозов.

Конструкторы настойчиво стремились обеспечить полную неподвижность орудия при выстреле. Эту задачу, как известно, уже в 1872 г. решил известный изобретатель Барановский, впервые создавший упругий лафет. Изобретение Барановского позволило в то время обходиться без дульного тормоза.

В связи с ростом могущества артиллерии возник вопрос об уменьшении веса орудия. Это особенно касалось тяжелых орудий, так как в XIX в. механической тяги в артиллерии не было, а возможности конной тяги были весьма ограничены.

Профессор Дурляхов показал, каким образом может быть решена проблема уменьшения веса орудия: наряду с созданием теории о совершенных конструкциях гидравлических тормозов он проделал большую работу по испытанию дульных тормозов и в 1900 г. блестяще доказал, что наиболее выгодно применять одновременно гидравлический и дульный тормозы.

Но в связи с тем, что в начале XX в. было много противников дульных тормозов (они указывали на возможность ударов снаряда о стенки тормоза, а также разрушения тормозов под действием ударов газовых струй), идея дульных тормозов была отвергнута. Однако сама жизнь заставила применить дульные тормозы, когда потребовалось решительно повысить

могущество артиллерии, не создавая для этого новых орудий. Это было проведено в жизнь при модернизации артиллерии после первой мировой войны. В нашей стране дульные тормозы получили весьма широкое применение с 1930 г. при модернизации орудий старых образцов (107-*мм*, 122-*мм*, 152-*мм* и др.). В дальнейшем дульные тормозы находили применение при создании новых систем (например, 76-*мм* пушка обр. 1942 г.), при использовании лафетов менее мощных орудий для орудий более мощных (например, 85-*мм* зенитная пушка на лафете 76-*мм* зенитной пушки) и при модернизации существующих орудий.

Часто новые орудия делают без дульных тормозов с таким расчетом, чтобы в дальнейшем можно было повысить могущество орудия при одновременном применении дульного тормоза.

Необходимо подчеркнуть, что дульные тормозы должны быть тщательно изготовлены, чтобы снаряд при прохождении через них не соприкасался со стенками и чтобы не было эксцентричности действия пороховых газов на снаряд, так как это может привести к резкому увеличению рассеивания снарядов и к несчастным случаям.

Ввиду резких динамических действий газовых струй в стенках тормоза возникают весьма высокие напряжения и происходит сильный нагрев металла. В связи с этим требуется особая тщательность при выборе сорта стали и при решении вопроса о конструкции стенок канала ствола и качестве механической и термической обработки тормоза.

В орудиях большой мощности дульные тормозы отводят назад большие массы пороховых газов, вследствие чего необходимо принимать меры безопасности.

Из некоторых орудий с дульными тормозами не разрешается стрелять холостыми выстрелами во избежание повреждения стенок тормоза ударами пыжа.

Необходимо регулярно проверять, надежно ли крепление дульного тормоза, нет ли на нем трещин, деформаций стенок и зазоров, вызывающих качку тормоза на стволе, нет ли дефектов на полированных поверхностях. При первом выстреле из орудия, у которого заменен дульный тормоз, нужно принимать меры предосторожности и тщательно проверять состояние дульного тормоза и его крепление после первой стрельбы.

Не допускается стрельба на полном заряде из орудия, с которого снят дульный тормоз. В этом случае энергия отката будет значительно увеличена, в результате же резкого увеличения сопротивления в гидравлическом тормозе будут повреждены его детали и орудие выйдет из строя.

Различают два основных типа дульных тормозов.

Дульный тормоз, который только меняет направления струй истекающих пороховых газов и в котором предваритель-

ных ударов струй по поперечным поверхностям не происходит, называется тормозом реактивного действия (рис. 87).

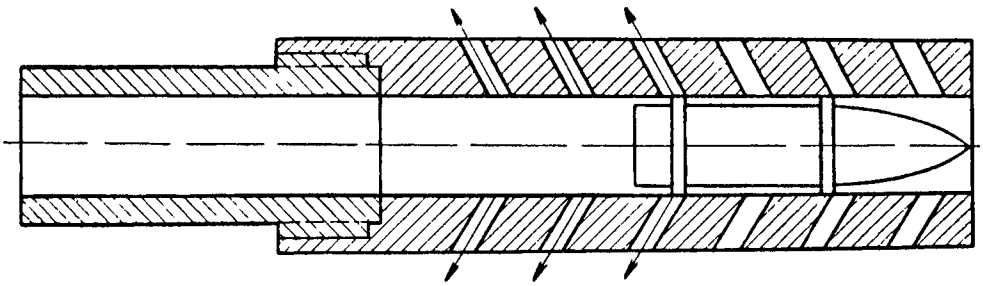


Рис. 87. Схема дульного тормоза реактивного действия

Дульный тормоз, заставляющий газы перед вылетом их в атмосферу производить резкие удары по специальным поверхностям, называется тормозом активного действия (рис. 88).

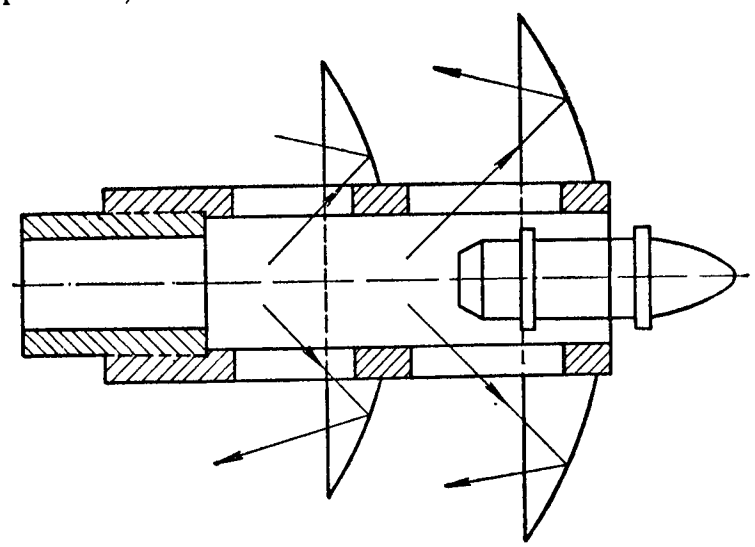


Рис. 88. Схема дульного тормоза активного действия

На практике в подавляющем большинстве дульных тормозов используются оба принципа действия. Поэтому дульный тормоз, который заставляет часть газов истекать в атмосферу только после резких ударов о специальные его поверхности, а остальную часть газов истекать в стороны без предварительных резких ударов, тормозящих откатные части, называется тормозом активно-реактивного действия.

Сущность реактивного действия

Каждая молекула газов, отталкиваясь от массы газов или от поверхности ствола (тормоза), производит реактивное действие на среду, от которой отталкивается. Величина реактивного действия измеряется количеством движения, с которым

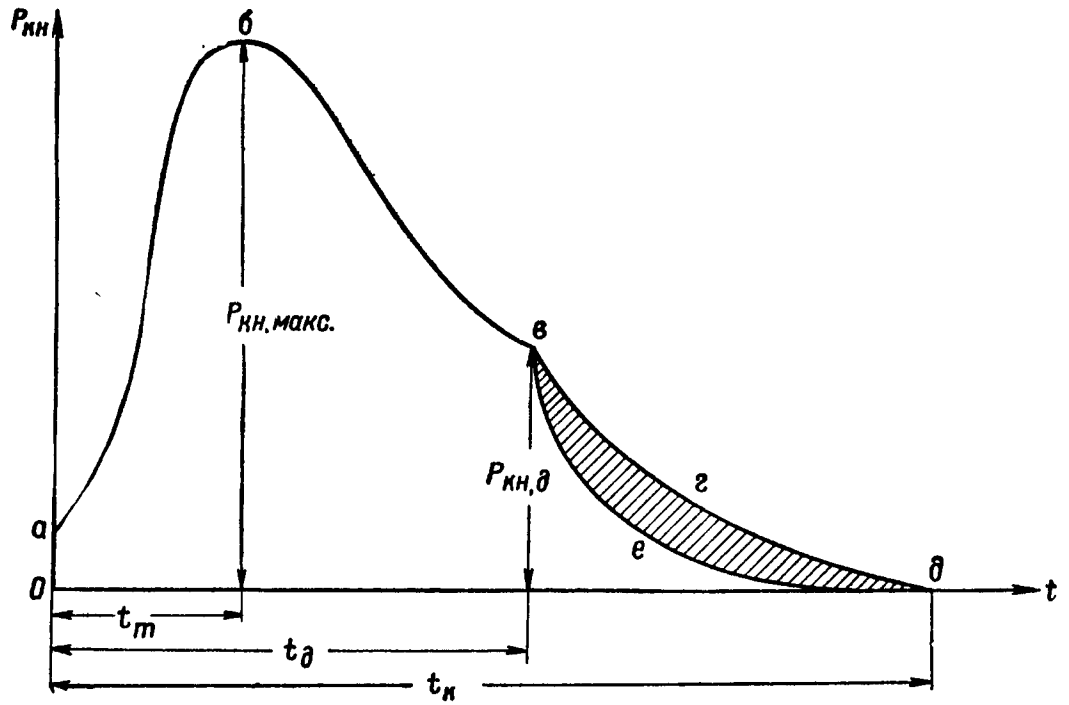


Рис. 89. Схема изменения силы $P_{кн}$ в орудии с дульным тормозом (согласно принимаемым допущениям в теории лафетов)
Кривая *Оабвед* — для орудия с дульным тормозом. Заштрихованная площадь показывает уменьшение импульса силы $P_{кн}$

частица отделяется от данной среды (для любого типа тормоза). Поэтому в сущности во всех тормозах используется реактивное действие газов.

Направление реактивного действия противоположно направлению движения частицы в момент ее отделения от данной среды. При каждом выстреле в любом орудии все молекулы пороховых газов, отталкиваясь от ствола, оказывают на него реактивное действие.

При наличии дульного тормоза часть пороховых газов вылетает назад и реактивное действие этой части газов направлено вперед, вследствие чего уменьшается общая сила действия газов на ствол $P_{кн}$, импульс этой силы и соответствующее ему количество движения отката по сравнению с количеством движения при откате без дульного тормоза (рис. 89), т. е.

$$\frac{Q_0 W'_к}{g} : \frac{Q_0 W_к}{g} = \text{площ. } Оабвед : \text{площ. } Оабвгд.$$

Поэтому $W'_k < W_k$ (рис. 90). Очевидно, чем больше газов будет отведено дульным тормозом назад, тем больше будет эффект торможения отката. Эффект торможения будет увеличиваться с уменьшением угла между струями истекающих газов и осью канала ствола (см. рис. 87). Чтобы действие дульного тормоза не вызывало каких-либо толчков, стремящихся вращать ствол, необходимо обеспечить симметричность истекающих струй газов относительно оси канала ствола.

Очевидно, что для повышения эффективности действия дульного тормоза направление окон или отражающих поверхностей должно быть таким, чтобы струи газов приближались как можно ближе к оси (к задней ее ветви) канала ствола, а число окон и поверхностей отражения обеспечивало максимальный выход газов через окна, а не через дульное отверстие тормоза. Поэтому действие тормозов с большим количеством малых окон или с большими отражающими поверхностями при наличии больших окон наиболее эффективно.

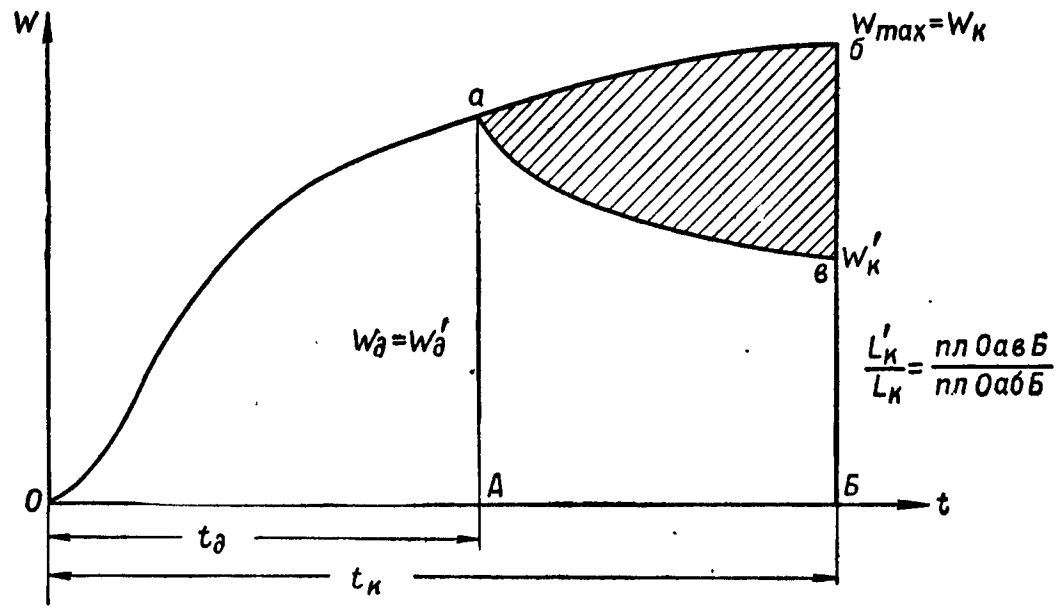


Рис. 90. График скоростей отката при наличии дульного тормоза (*Оав*) и без него (*Оаб*). Заштрихованная площадь показывает величину уменьшения пути отката за время последействия газов благодаря работе дульного тормоза. $L_к$ — путь свободного отката к концу последействия газов без учета действия дульного тормоза; $L'_к$ — путь отката к концу последействия газов с учетом действия дульного тормоза; $W'_к$ — скорость отката с учетом действия дульного тормоза

В зенитных орудиях, в тяжелых орудиях без щитов и в орудиях с очень большим зарядом применяют дульные тормозы с большим количеством малых окон, отводящих газы малыми струйками и перпендикулярно к оси канала ствола. Это делается, с одной стороны, для исключения возможности поражения газами людей у орудия и, с другой стороны, для исключения больших ударных нагрузок в тормозе, а также для увеличения прочности тормоза.

Б. Коэффициент действия дульного тормоза и зависимость скорости отката от действия дульного тормоза

Эффективность тормозящего действия дульного тормоза определяется так называемым коэффициентом действия дульного тормоза — $\eta_{дт}$.

Коэффициентом действия дульного тормоза называется отношение разности живых сил отката к концу последействия газов (без тормоза и при наличии дульного тормоза) к живой силе свободного отката в конце последействия газов (без дульного тормоза) или относительное уменьшение энергии отката за счет работы дульного тормоза:

$$\eta_{\partial T} = \frac{\frac{Q_0}{2g} W_{max}^2 - \frac{Q_0}{2g} W_к'^2}{\frac{Q_0}{2g} W_{max}^2},$$

где $W_к'$ — скорость отката в момент конца последействия газов при наличии дульного тормоза.

Иначе

$$\eta_{\partial T} = 1 - \left(\frac{W_к'}{W_{max}}\right)^2.$$

Обычно принято коэффициент действия дульного тормоза $\eta_{\partial T}$ выражать в процентах.

Коэффициент $\eta_{\partial T}$ показывает, на сколько процентов уменьшается энергия отката благодаря действию дульного тормоза по сравнению с энергией свободного отката без дульного тормоза.

Для существующих орудий полевой артиллерии средних калибров коэффициент действия дульного тормоза колеблется в пределах от 30% и выше.

Для орудий малого калибра и стреляющих с большой начальной скоростью $\eta_{\partial T}$ может доходить до 50—70% и выше.

Скорость $W_к'$ можно выразить через коэффициент действия дульного тормоза следующим образом:

$$W_к' = W_{max}\sqrt{1 - \eta_{\partial T}}.$$

Пример. Дано: $W_{max} = 15$ *м/сек*; $\eta_{\partial T} = 0{,}36 = 36\%$.

Определить $W_к'$.

Решение. $W_к' = 15\sqrt{1 - 0{,}36} = 15 \cdot 0{,}8 = 12$ *м/сек*.

В. О силе $P_{кн}$ и скорости отката в орудии с дульным тормозом

Дульный тормоз начинает действовать с момента открытия его окон для пороховых газов после прохождения ведущим пояском дульного среза трубы ствола (т. е. примерно с момента вылета снаряда; во внутренней баллистике обычно не учитывают влияние дульного тормоза).

С момента вылета снаряда суммарное действие газов приводит к уменьшению силы $P_{кн}$ в орудиях с дульным тормозом по сравнению с силой $P_{кн}$ в орудиях без дульного тормоза, так как реакция газов, вылетающих назад, имеет знак, обратный знаку силы давления газов на дно канала. Под силой $P_{кн}$ в орудии с дульным тормозом понимают алгебраическую сумму силы действия газов внутри ствола и силы реакции истекающих газов (рис. 89).

Благодаря уменьшению силы $P_{кн}$ скорость отката с момента начала действия дульного тормоза будет непрерывно убывать до конца действия газов (по сравнению со скоростью свободного отката, см. рис. 90).

Путь отката к концу последействия газов в орудиях с дульным тормозом будет меньше пути отката в орудиях без дульного тормоза (так как скорость меньше). Скорость снаряда при стрельбе без дульного тормоза будет на 1—3% меньше, чем при стрельбе с дульным тормозом.

О предельных возможностях торможения откатных частей орудия при помощи дульного тормоза

За время последействия газов откатные части получают дополнительное количество движения, равное разности

$$\frac{Q_0}{g} W_{max} - \frac{Q_0}{g} W_{\partial}.$$

Это приращение движения получается благодаря реактивному действию истекающих газов. Импульс реактивного действия за время последействия равен

$$(\beta - 0{,}5)\frac{\omega}{g} v_0 = \frac{Q_0}{g} (W_{max} - W_{\partial}).$$

Рассмотрим две конструкции дульного тормоза.

1. Тормоз отводит все газы из ствола без активного действия в направлении, перпендикулярном к оси канала ствола. Откатные части в этом случае не получат приращения количества движения за время последействия и скорость отката в конце последействия будет примерно равной скорости отката в момент вылета (без учета работы давления газов на дно канала ствола). Конструктивно этого можно достичь при большом количестве отверстий, отводящих газы в направлении, перпендикулярном к оси канала ствола, и при значительной длине дульного тормоза. В этом случае коэффициент действия дульного тормоза будет

$$\eta_{\partial T} = 1 - \left(\frac{W'_к}{W_{max}}\right)^2 = 1 - \left(\frac{W_{\partial}}{W_{max}}\right)^2 = 1 - \left(\frac{q + 0{,}5\omega}{q + \beta\omega}\right)^2.$$

Пример. Дано: $q = 15$ *кг*, $\omega = 7$ *кг*, $\beta = 1{,}55$.

Определить $\eta_{\partial T}$ при отводе всех газов перпендикулярно к оси канала ствола.

Решение.

$$\eta_{\partial T} = 1 - \left(\frac{15 + \frac{7}{2}}{15 + 1{,}55 \cdot 7}\right)^2 \approx 0{,}49 = 49\%.$$

2. Тормоз отводит все газы через свои окна назад под углом 45° к оси канала ствола. В этом случае реактивное действие газов вызовет дополнительное (по сравнению с первым случаем) уменьшение количества движения отката на величину $(\beta - 0{,}5)\frac{\omega}{g} v_0 \cos 45°$, равную проекции реактивного действия всех газов на направление отката. Наибольшее значение $\eta_{\partial T}$ будет в данном случае определяться формулой

$$\eta_{\partial T} = 1 - \left(\frac{W_к}{W_{max}}\right)^2 = 1 - \left(\frac{W_\partial - \frac{(\beta - 0{,}5)\,\omega v_0}{Q_0}\cos 45°}{W_{max}}\right)^2 =$$

$$= 1 - \left(\frac{1 + 0{,}5\frac{\omega}{q} - \frac{(\beta - 0{,}5)\,\omega}{q}\cos 45°}{1 + \beta\frac{\omega}{q}}\right)^2.$$

Пример. Определить $\eta_{\partial T}$ для случая отвода всех газов назад под углом 45° к оси канала ствола при $\frac{\omega}{q} = 0{,}5$; $\beta = 1{,}5$.

Решение.

$$\eta_{\partial T} = 1 - \left(\frac{1 + 0{,}25 - 0{,}5 \cdot 0{,}7}{1 + 0{,}75}\right)^2 = 1 - \left(\frac{0{,}9}{1{,}75}\right)^2 = 0{,}73 = 73\%.$$

Примечание. На практике при коротких дульных тормозах и с учетом работы силы давления газов на дно канала $\eta_{\partial T}$ примерно вдвое меньше вышеуказанных предельных значений.

Продолжительность периода последействия газов при наличии дульного тормоза немного больше, чем в орудии без дульного тормоза, так как выход газов из орудия во время движения снаряда через дульный тормоз значительно ограничен стенками тормоза. После выхода снаряда из дульного тормоза истечение газов становится свободным и в это время дульный тормоз почти не влияет на изменения продолжительности истечения газов. На рис. 89 и 90 не учтена разность времен t' для орудий с дульным тормозом и без него ($t' = t_к - t_\partial$).

ГЛАВА IV

ТОРМОЖЕННЫЙ ОТКАТ

§ 1. СИЛЫ, ДЕЙСТВУЮЩИЕ НА ОТКАТНЫЕ ЧАСТИ ВО ВРЕМЯ ТОРМОЖЕННОГО ОТКАТА, И МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ

Торможенным откатом называется действительное движение откатных частей орудия назад во время выстрела под действием всех сил, приложенных к откатным частям (иначе говоря, под действием силы $P_{кн}$ и сопротивления откату R).

Для удобства изучения движения отката все силы, кроме силы $P_{кн}$, работу которой мы исследовали в главе о свободном откате, можно заменить одной равнодействующей R, называемой силой сопротивления откату.

Таким образом, одно сложное явление будет сводиться к двум простым. Движение действительное можно представить состоящим из свободного отката, происходящего под действием только одной силы $P_{кн}$, и противоположного движения под действием силы сопротивления откату R. Движение свободного отката и движение под действием силы сопротивления откату алгебраически складываются с их знаками. Величину силы R подбирают путем расчета так, чтобы получить приемлемую длину отката и чтобы система была устойчива при выстреле.

§ 2. ОСНОВНОЕ УРАВНЕНИЕ ДВИЖЕНИЯ ОТКАТНЫХ ЧАСТЕЙ

Из механики нам известно основное уравнение движения тела

$$Mj = F,$$

где M — масса тела;
j — ускорение тела;
F — равнодействующая всех сил, действующих на тело.

Применительно к торможенному откату можно записать основное уравнение движения в следующем виде:

$$\frac{Q_0}{g} \cdot j_{от} = P_{кн} - R,$$

где $j_{от}$ — ускорение отката в данный момент действия сил $P_{кн}$ и R.

Действительное полное ускорение $j_{от}$ выразим через его составляющие; при этом за положительное направление сил возьмем направление отката:

$$\frac{Q_0}{g} j_P = P_{кн}; \quad \frac{Q_0}{g} j_R = -R;$$

$$\frac{Q_0}{g} j_{от} = \frac{Q_0}{g} (j_P + j_R).$$

Здесь: j_P — ускорение откатных частей под действием только одной силы $P_{кн}$, т. е. ускорение свободного отката; j_R — ускорение откатных частей под действием только силы сопротивления откату.

§ 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ТОРМОЖЕННОГО ОТКАТА ДЛЯ ЛЮБОГО МОМЕНТА ДВИЖЕНИЯ

Используем в качестве исходного положения выражение для скорости, приобретенной телом за время действия на него силы:

скорость, приобретенная телом за время действия на него силы	=	среднее значение ускорения за время действия силы	×	время действия силы

Применяя указанное общее положение, напишем выражение для скорости торможенного отката V в любой момент движения t:

$$V = j_{от,\,ср} \cdot t = (j_{P_{ср}} \cdot t + j_{R_{ср}} \cdot t) = W + j_{R_{ср}} \cdot t = W - \frac{R_{ср} g}{Q_0} t.$$

Для вычисления скорости торможенного отката V берут скорость W по формулам свободного отката и задаются, исходя из условий устойчивости орудия при выстреле, законом изменения силы сопротивления откату R.

На практике могут быть два случая: 1) сила R не меняется и 2) сила R изменяется, убывая или возрастая по участкам отката по закону прямой в зависимости от пути или времени. Следовательно, для случая, когда сила R не меняется по величине, скорость в любой момент торможения отката будет равна

$$V = W - \frac{Rg}{Q_0} t.$$

Для силы R, убывающей или возрастающей по закону прямой в зависимости от времени (импульс силы изображается трапецией на диаграмме зависимости силы от времени),

$$V = W - \frac{(R_0 + R)\,g}{2Q_0}\,t.$$

§ 4. ПУТЬ ТОРМОЖЕННОГО ОТКАТА (ПРИ ПОСТОЯННОМ СОПРОТИВЛЕНИИ ОТКАТУ) В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВРЕМЕНИ

Путь торможенного отката можно представить состоящим из пути свободного отката L и пути от действия только одной силы сопротивления откату. Путь от действия силы сопротивления откату имеет обратное направление, так как сила R направлена в сторону, противоположную откату.

Ускорение от действия силы R равно $j_R = -\frac{gR}{Q_0}$.

Путь торможенного отката при $R = \text{const}$ для любого момента движения определится выражением

$$X = L - \frac{gR}{Q_0} \cdot \frac{t^2}{2}.$$

Примечание. Для силы $P_{кн}$ наибольшее время действия $t_к = t_\partial + t'$; для любого момента после конца последействия газов величина L будет складываться из двух частей:

$$L = L_к + W_{max}\,(t - t_к).$$

Вторая часть соответствует равномерному движению со скоростью W_{max} за время от конца последействия газов до данного момента.

§ 5. ПЕРИОДЫ ТОРМОЖЕННОГО ОТКАТА И СИСТЕМАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ ТОРМОЖЕННОГО ОТКАТА ПРИ ПОСТОЯННОЙ СИЛЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ

Весь торможенный откат (при любом законе изменения силы R) для удобства изучения делят на два периода.

Первым периодом отката называется движение откатных частей во время действия на них пороховых газов (рис. 91).

Этот период начинается с момента начала отката и продолжается до конца последействия газов. Первый период наиболее сложен для изучения.

Второй период отката продолжается от конца последействия газов до конца отката. Во второй период на откатные части действует только сопротивление откату.

Торможение отката под действием постоянного сопротивления применяется во всех орудиях, в которых это возможно при сохранении устойчивости, что в первую очередь связано с весом орудия в боевом положении и углом возвышения, определяющим величину плеча h для силы R.

Все морские, танковые, стационарные системы могут иметь постоянное сопротивление откату. Величина силы R для стационарных систем часто определяется не условием устойчивости, а условиями прочности деталей лафета и деталей связи орудия с основанием.

Полевые системы с переменной длиной отката, как правило, имеют постоянное сопротивление при больших углах возвышения (короткий откат).

Откат при $R = \text{const}$ весьма прост для изучения и расчета; при этом получаются наименьшие напряжения в деталях лафета (при одной и той же длине отката). На практике вели-

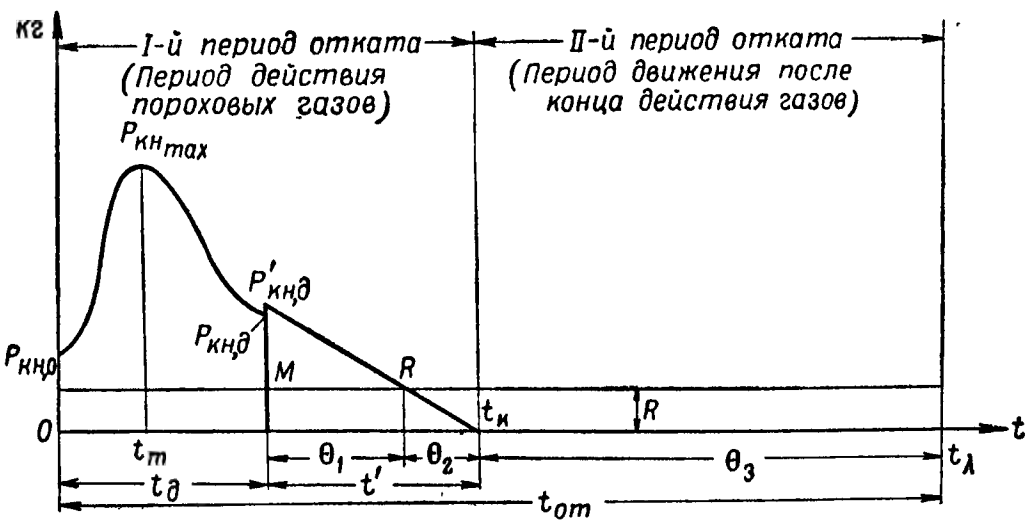


Рис. 91. Схема периодов отката

чина силы R может резко отличаться от расчетной величины вследствие увеличения трения на направляющих, в сальниках и в гидравлическом тормозе при неправильном уходе за системой (загрязнение, сильная затяжка сальников, нестандартная жидкость, загустевание жидкости, изгиб штоков, неправильная сборка и т. п.).

Порядок систематического расчета движения торможенного отката при постоянном сопротивлении откату

Ниже даются расчетные формулы для определения различных элементов торможенного отката.

Скорость отката в любой момент отката

$$V = W - \frac{gR}{Q_0} t.$$

Путь отката в любой момент

$$X = L - \frac{gR}{Q_0} \cdot \frac{t^2}{2}.$$

Скорость отката в момент наибольшего давления газов в канале ствола (t_m известно из баллистического решения)

$$V_m = W_m - \frac{gR}{Q_0} t_m,$$

где

$$t_m \approx \frac{2Q_0 W_m}{P_{\text{кн. }m} \cdot g}.$$

Выражение для t_m дано для проверки решения.

Путь отката в момент наибольшего давления газов в канале ствола

$$X_m = L_m - \frac{gR}{Q_0} \cdot \frac{t_m^2}{2}.$$

Скорость отката в момент вылета снаряда

$$V_д = W_д - \frac{gR}{Q_0} t_д.$$

Путь отката в момент вылета снаряда

$$X_д = L_д - \frac{gR}{Q_0} \cdot \frac{t_д^2}{2},$$

где

$$t_д \approx \frac{2l_д}{v_0}.$$

Скорость отката в момент конца последействия газов

$$V_к = W_{\max} - \frac{gR}{Q_0} t_к,$$

где

$$t_к = t_д + t'.$$

Путь отката в момент конца последействия газов

$$X_к = L_к - \frac{gR}{Q_0} \cdot \frac{t_к^2}{2}.$$

Наибольшая скорость торможенного отката для орудия без дульного тормоза немного больше скорости в конце последействия. Можно считать, что наибольшая скорость торможенного отката будет в конце последействия газов. Поэтому принимаем для орудия без дульного тормоза

$$V_{\max} \approx V_к = W_{\max} - \frac{gR}{Q_0} t_к.$$

Аналогично рассуждая, можно принять

$$X_{max} \approx X_к = L_к - \frac{gR}{Q_0} \cdot \frac{t_к^2}{2},$$

где X_{max} — путь отката в момент наибольшей скорости торможенного отката.

Продолжительность торможенного отката при $R = \text{const}$. Конец отката характеризуется $V_\lambda = 0$, где V_λ — скорость в конце отката.

Время отката $t_{от}$ определяется на основании закона импульсов сил $P_{кн}$ и R (импульс силы $P_{кн}$ равен импульсу силы R к моменту конца отката):

$$P_{кн.\,ср} t_к = \frac{Q_0 W_{max}}{g} = R t_{от},$$

откуда

$$t_{от} = \frac{Q_0 W_{max}}{gR}.$$

Точное определение элементов отката для момента наибольшей скорости торможенного отката при $R = \text{const}$ (см. рис. 91). В момент наибольшей скорости $P_{кн} = R$.

Время от момента вылета снаряда до момента наибольшей скорости торможенного отката (из подобия треугольников с основаниями, равными t' и θ_2)

$$\theta_1 = t' \frac{P_{кн,\,д} - R}{P_{кн,\,д}}.$$

Наибольшая скорость торможенного отката (приращение количества движения равно импульсу сил за время приращения)

$$V_{max} = V_д + \frac{(P_{кн,\,д} - R)\,g}{2Q_0} \cdot \theta_1 = V_д + \frac{(P_{кн,\,д} - R)^2 g}{2Q_0 P_{кн,\,д}} t'.$$

Путь торможенного отката к моменту наибольшей скорости торможенного отката

$$X_{V_m} = X_д + V_д \theta_1 + \frac{g(P_{кн,\,д} - R)}{Q_0} \cdot \frac{\theta_1^2}{3}.$$

Разность скоростей $(V_{max} - V_к)$

$$V_{max} - V_к = \frac{Rg}{2Q_0}(t' - \theta_1).$$

§ 6. ПРИМЕРЫ НА ВЫЧИСЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ СВОБОДНОГО И ТОРМОЖЕННОГО ОТКАТА (ПРИ ПОСТОЯННОМ СОПРОТИВЛЕНИИ ОТКАТУ)

Дано: $d = 76$ *мм*; $S = 46$ *см*^{2}; $q = 6{,}5$ *кг*;
$v_0 = 700$ *м/сек*; $P_{max} = 2500$ *кг/см*^{2}; $Q_0 = 600$ *кг*;
$\omega = 1{,}2$ *кг*; $l_д = 2{,}4$ *м*; $v_m = 250{,}0$ *м/сек*;
$R = 3500$ *кг*; $l_m = 0{,}24$ *м*; $P_д = 650$ *кг/см*^{2};
$t_m = 0{,}00312$ сек.

Решение. Находим сначала элементы свободного отката:

$$W_m = \frac{q + 0{,}5\omega}{Q_0 + q} v_m = \frac{6{,}5 + 0{,}6}{600 + 6{,}5} \cdot 250 = 2{,}93 \text{ м/сек};$$

$$W_д = \frac{q + 0{,}5\omega}{Q_0 + q} v_0 = \frac{6{,}5 + 0{,}6}{600 + 6{,}5} \cdot 700 = 8{,}2 \text{ м/сек};$$

$$W_к = W_{max} = \frac{q + \beta\omega}{Q_0 + q} v_0 = \frac{6{,}5 + \frac{1300}{700} \cdot 1{,}2}{600 + 6{,}5} \cdot 700 \approx 9{,}75 \text{ м/сек};$$

$$L_m = \frac{q + 0{,}5\omega}{Q_0 + q} l_m = \frac{6{,}5 + 0{,}6}{606{,}5} \cdot 0{,}24 = 0{,}0028 \text{ м};$$

$$L_д = \frac{q + 0{,}5\omega}{Q_0 + q} l_д = \frac{6{,}5 + 0{,}6}{606{,}5} \cdot 2{,}4 = 0{,}028 \text{ м};$$

$$t_m = \frac{2Q_0 W_m}{g P_{кн,\,max}} = \frac{2 \cdot 600 \cdot 2{,}93}{9{,}81 \cdot 2500 \cdot 46} = 0{,}00312 \text{ сек.};$$

$$t_д = \frac{2l_д}{v_0} = \frac{2 \cdot 2{,}4}{700} = 0{,}007 \text{ сек.};$$

$$t' = \frac{2Q_0 (W_к - W_д)}{g P_{кн,\,д}} = \frac{2 \cdot 600\,(9{,}75 - 8{,}2)}{9{,}81 \cdot 650 \cdot 46} = 0{,}0064 \text{ сек.};$$

$$t_к = t_д + t' = 0{,}007 + 0{,}0064 = 0{,}0134 \text{ сек.};$$

$$L_к = L_д + W_д t' + \frac{g P_{кн,\,д}}{Q_0} \cdot \frac{t'^2}{3} =$$

$$= 0{,}028 + 8{,}2 \cdot 0{,}0064 + \frac{9{,}81 \cdot 650 \cdot 46}{600} \cdot \frac{0{,}0064^2}{3} =$$

$$= 0{,}028 + 0{,}0525 + 0{,}00665 = 0{,}08715 \text{ м} \approx 87 \text{ мм}.$$

Определяем элементы отката, торможенного постоянной силой ($R = \text{const}$)

$$V_m = W_m - \frac{gR}{Q_0} t_m = 2{,}93 - \frac{3500 \cdot 9{,}81}{600} \cdot 0{,}00312 =$$

$$= (2{,}93 - 0{,}178) \text{ м/сек};$$

$$V_m = 2{,}752 \text{ м/сек};$$

$$V_д = W_д - \frac{gR}{Q_0} t_д = 8{,}2 - \frac{3500 \cdot 9{,}81}{600} \cdot 0{,}007 = (8{,}2 - 0{,}4) \text{ м/сек};$$

$$V_д = 7{,}8 \text{ м/сек};$$

$$V_{max} \approx V_к = W_{max} - \frac{gR}{Q_0} t_к = 9{,}75 - \frac{3500 \cdot 9{,}81}{600} \cdot 0{,}0134 =$$

$$= (9{,}75 - 0{,}77) \text{ м/сек};$$

$$V_к = 8{,}98 \text{ м/сек};$$

$$X_m = L_m - \frac{gR}{Q_0} \cdot \frac{t_m^2}{2} = 0{,}0028 - \frac{3500 \cdot 9{,}81}{600 \cdot 2} \cdot 0{,}00312^2 =$$

$$= 0{,}0028 - 0{,}00029 = 0{,}0025 \text{ м};$$

$$X_д = L_д - \frac{gR}{Q_0} \cdot \frac{t_д^2}{2} = 0{,}028 - \frac{3500 \cdot 9{,}81}{600 \cdot 2} \cdot 0{,}007^2 =$$

$$= 0{,}028 - 0{,}0015 = 0{,}026 \text{ м};$$

$$X_к = L_к - \frac{gR}{Q_0} \cdot \frac{t_к^2}{2} = 0{,}08715 - \frac{3500 \cdot 9{,}81}{600 \cdot 2} \cdot 0{,}0134^2 =$$

$$= 0{,}08715 - 0{,}0066 = 0{,}08055 \approx 0{,}08 \text{ м}.$$

Точное вычисление элементов движения торможенного отката в момент наибольшей скорости торможенного отката

$$\theta_1 = t' \frac{P_{кн,\,д} - R}{P_{кн,\,д}} = 0{,}0064 \frac{650 \cdot 46 - 3500}{650 \cdot 46} = 0{,}88t' = 0{,}00563 \text{ сек.};$$

$$V_{max} = V_д + \frac{(P_{кн,\,д} - R)\,g}{2Q_0} \cdot \theta_1 = 7{,}8 + \frac{(29900 - 3500)\,9{,}81}{2 \cdot 600} \cdot 0{,}00563 =$$

$$= 7{,}8 + 1{,}215 = 9{,}015 \text{ м/сек};$$

$$X_{V_{max}} = X_д + V_д\theta_1 + \frac{g\,(P_{кн,\,д} - R)}{Q_0} \cdot \frac{\theta_1^2}{3} =$$

$$= 0{,}026 + 7{,}8 \cdot 0{,}00563 + \frac{9{,}81 \cdot 26400}{600} \cdot \frac{0{,}00563^2}{3} =$$

$$= 0{,}026 + 0{,}044 + 0{,}005 = 0{,}075 \text{ м};$$

$$V_{max} - V_к = 9{,}015 - 8{,}98 = 0{,}035 \text{ м/сек};$$

$$\frac{V_{max} - V_к}{V_к} = \frac{0{,}035}{8{,}98} \approx 0{,}004 = 0{,}4\%;$$

$$X_к - X_{Vmax} = 0{,}0806 - 0{,}075 = 0{,}0056 \text{ м} = 5{,}6 \text{ мм}.$$

Пример наглядно показывает, что разности между V_{max} и $V_к$, а также между $X_к$ и $X_{V_{max}}$ весьма малы и что можно принять $V_{max} \approx V_к$ и $X_{Vmax} \approx X_к$.

Для сравнения величин приведем следующие данные:

$$\frac{R}{P_{\text{кн. }m}} = \frac{3500}{2500 \cdot 46} = \frac{1}{30{,}5} \approx \frac{1}{30};$$

$$t_{\text{от}} = \frac{Q_0 W_{\max}}{gR} = \frac{600 \cdot 9{,}75}{9{,}81 \cdot 3500} = 0{,}171 \text{ сек.};$$

$$\frac{t_{\text{к}}}{t_{\text{от}}} = \frac{0{,}013}{0{,}171} = 0{,}08 \approx \frac{1}{12}; \quad \frac{t_{\partial}}{t_{\text{от}}} = \frac{0{,}007}{0{,}171} \approx \frac{1}{25}.$$

§ 7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ОТКАТА ВО ВТОРОМ ПЕРИОДЕ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПУТИ ОТКАТА ПРИ ПОСТОЯННОЙ СИЛЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ОТКАТУ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЛИНЫ ОТКАТА

Для второго периода отката скорость в зависимости от пути отката определим на основании закона живых сил:

$$\frac{Q_0 (V_{\text{к}}^2 - V^2)}{2g} = R(X - X_{\text{к}}),$$

откуда

$$V^2 = V_{\text{к}}^2 - \frac{2gR(X - X_{\text{к}})}{Q_0},$$

где X — путь торможенного отката к данному моменту.

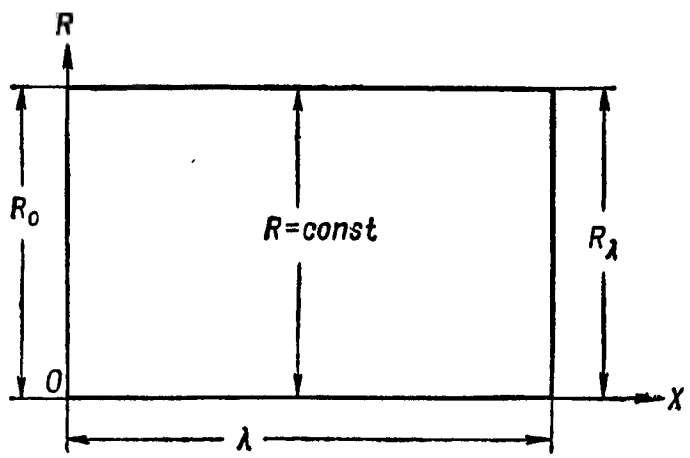


Рис. 92. Диаграмма силы R для случая $R = \text{const}$

Длину отката λ для данного орудия и силы R можно определить на основании того, что скорость в конце отката равна нулю (рис. 92). Следовательно, $V_\lambda = 0$ или

$$V_{\text{к}}^2 - \frac{2gR(\lambda - X_{\text{к}})}{Q_0} = 0,$$

откуда

$$\lambda = \frac{Q_0 V_{\text{к}}^2}{2gR} + X_{\text{к}}.$$

Здесь λ — длина отката для принятых нормальных условий.

Пример. Возьмем все данные ранее решенного примера и вычислим длину отката при постоянном сопротивлении откату.

Исходная формула:

$$\lambda = \frac{Q_0 V_к^2}{2gR} + X_к,$$

$$\lambda = \frac{600 \cdot 8{,}98^2}{2 \cdot 9{,}81 \cdot 3500} + 0{,}08 = 0{,}69 + 0{,}08 = 0{,}77 \text{ м}.$$

Учитывая отклонения на практике различных величин, влияющих на длину отката, противооткатные устройства делают такими, чтобы был возможен более длинный откат. Практически каждое орудие имеет так называемый «конструктивный запас» возможной длины отката, равный 50—100 *мм*.

Величину λ можно выразить через элементы свободного отката, заменяя $V_к$ и $X_к$ их выражениями через элементы свободного отката (при $R = \text{const}$):

$$V_к = W_{max} - \frac{Rg}{Q_0} t_к$$

и

$$X_к = L_к - \frac{gR}{Q_0} \cdot \frac{t_к^2}{2}.$$

После подстановки $V_к$ и $X_к$ и приведения подобных членов получим для $R = \text{const}$:

$$\lambda = \frac{Q_0 W_{max}^2}{2gR} + L_к - W_{max} t_к.$$

§ 8. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕОБХОДИМОЙ ВЕЛИЧИНЫ ПОСТОЯННОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ОТКАТУ R ДЛЯ ПОЛНОГО ТОРМОЖЕНИЯ ОТКАТНЫХ ЧАСТЕЙ ДАННОГО ОРУДИЯ НА ОПРЕДЕЛЕННОЙ ДЛИНЕ ОТКАТА (λ)

Выше приводилась формула для нахождения длины отката λ при данном R и данном орудии, т. е. для известных Q_0, W_{max}. Решая это уравнение относительно R, получим:

$$R = \frac{\frac{Q_0 W_{max}^2}{2g}}{\lambda - L_к + W_{max} t_к}.$$

Пример. Определить необходимое значение R для разобранного примера (см. § 6), если $\lambda = 1$ *м* и $R = \text{const}$.

Решение.

$$R = \frac{\frac{600}{2 \cdot 9{,}81} \cdot 9{,}75^2}{1 - 0{,}087 + 9{,}75 \cdot 0{,}0134} = \frac{2900}{0{,}913 + 0{,}131} = 2780 \text{ кг}.$$

Последней формулой пользуются обычно для подбора необходимого значения R в случае $R = \text{const}$ и при заданной длине отката λ.

Величина R должна удовлетворять также условию устойчивости при выстреле.

§ 9. ТОРМОЖЕНИЕ ОТКАТА ПЕРЕМЕННЫМ СОПРОТИВЛЕНИЕМ В ПОЛЕВЫХ СИСТЕМАХ

(определение силы R, скорости отката и времени отката)

Для обеспечения устойчивости полевых орудий небольшого (относительно) боевого веса во время стрельбы при малых углах возвышения приходится применять переменное сопротивление откату, приближающееся к предельно допустимому с учетом действия динамической пары $P_{кн} \cdot e$ и переменного расстояния D.

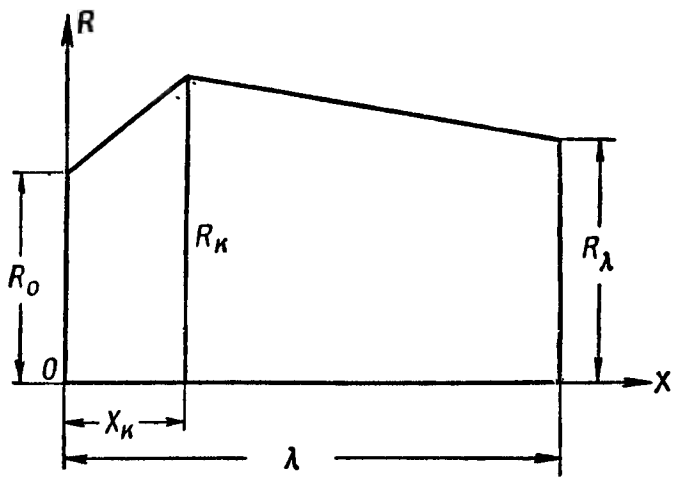


Рис. 93. Диаграмма силы R для полевых систем при наличии динамического плеча (e) и при максимальном использовании веса орудия ($Q_б$) для повышения устойчивости

Выше была установлена общая зависимость предельно допустимой силы сопротивления откату $R_{пр}$ от пути отката, угла возвышения и момента динамической пары (см. § 9, гл. II, раздел третий):

$$R_{пр} = \frac{Q_б D_0 - Q_0 X \cos\varphi - P_{кн} \cdot e}{h}.$$

Вводя коэффициент запаса устойчивости m, получим

$$R_{доп} = \frac{R_{пр}}{m} = \frac{Q_б D_0 - Q_0 X \cos\varphi}{mh} - \frac{P_{кн} \cdot e}{mh},$$

при этом m берется не менее 1,1.

В полевых орудиях с переменным R и при наличии динамической пары обычно принимают следующую схему изменения силы R (рис. 93).

В течение первого периода отката принимают силу R возрастающей от R_0 в начале отката до величины $R_к$ в момент конца последействия газов, а для второго периода принимают R убывающей до величины R_λ в конце отката. Величину R_0 найдем из выражения

$$R_0 = \frac{Q_б D_0}{mh} - \frac{P_{кн\ max} \cdot e}{mh},$$

т. е. считаем $X_{max} = 0$.

При таком приеме расчета мы заведомо повышаем запас устойчивости. Величину $R_к$ определим по формуле

$$R_к = \frac{Q_б D_0 - Q_0 L_к \cos\varphi}{mh},$$

т. е. считаем $X_к \approx L_к$, чем также немного увеличиваем запас устойчивости [1].

Величина R_λ находится из выражения

$$R_\lambda = \frac{Q_б D_0 - Q_0 \lambda \cos\varphi}{mh}.$$

Плечо h силы R определяется по формуле

$$h = (H - d_ц + \Delta H)\cos\varphi - D_ц \sin\varphi + d_ц - e.$$

Наименьшее значение силы R будет при $\varphi = \varphi_{пред}$. О значении угла $\varphi_{пред}$ для различных систем указано выше (§ 10, гл. II, раздел третий).

Считаем, что на участке движения от начала отката до конца последействия газов сила R увеличивается также по закону прямой в зависимости от времени.

Скорость торможенного отката $V_к$ в конце последействия газов найдем по закону импульсов (импульс силы R равен площади трапеции с параллельными сторонами, равными R_0 и $R_к$, и с высотой, равной $t_к = t_д + t'$):

$$\frac{Q_0}{g}(W_{max} - V_к) = \frac{R_0 + R_к}{2}(t_д + t'),$$

откуда получим

$$V_к = W_{max} - \frac{(R_0 + R_к)g}{2Q_0}(t_д + t').$$

---

[1] Более точно $X_к$ можно определить при помощи формулы, учитывающей принцип независимости действия сил,

$$X_к = L_к - \frac{W_{max} - V_к}{2} t_к,$$

где $\frac{W_{max} - V_к}{2}$ — средняя скорость, которую имели бы откатные части в течение первого периода отката под действием одной силы R.

В течение второго периода отката принимаем силу R убывающей по закону прямой в зависимости от пути отката, так как устойчивость уменьшается по закону прямой от пути отката (рис. 94), т. е.

$$R = R_к - \Delta R,$$

где ΔR определится из подобия треугольников abc и adf:

$$\frac{\Delta R}{R_к - R_\lambda} = \frac{X - X_к}{\lambda - X_к} \text{ или } \Delta R = (R_к - R_\lambda)\frac{X - X_к}{\lambda - X_к}.$$

Поэтому

$$R = R_к - \frac{R_к - R_\lambda}{\lambda - X_к}(X - X_к).$$

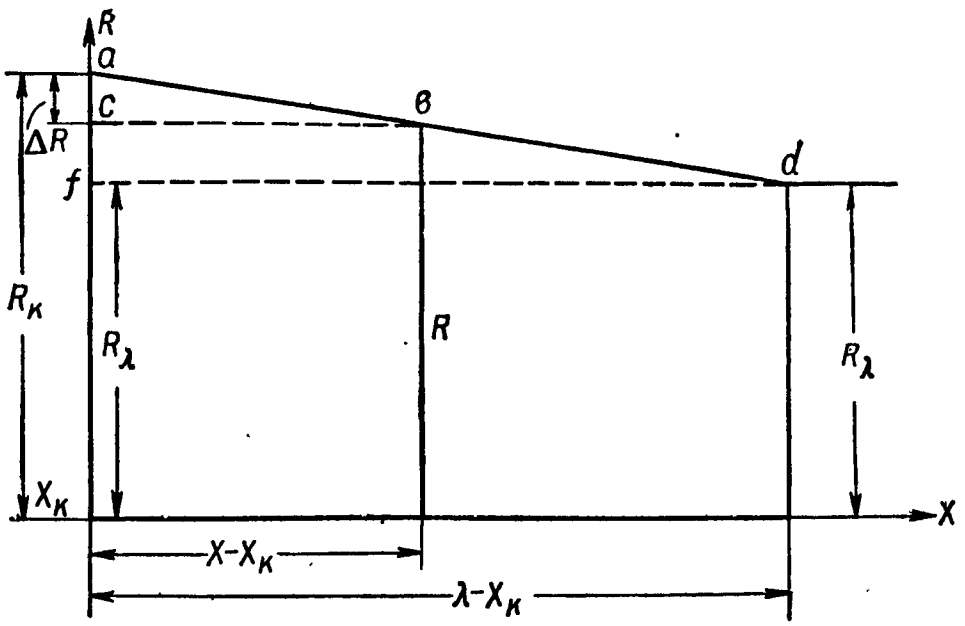


Рис. 94. Схема для определения значения силы R для любого момента второго периода отката при переменном значении силы R

Скорость торможенного отката для любого момента движения во втором периоде найдем (рис. 94), применяя закон живых сил:

$$\frac{Q_0 V_к^2}{2g} - \frac{Q_0 V^2}{2g} = \frac{R_к + R}{2}(X - X_к),$$

откуда получим

$$V^2 = V_к^2 - \frac{g(R_к + R)}{Q_0}(X - X_к).$$

Для вычисления продолжительности второго периода торможенного отката θ_2 можно принять допущение, что сила R в зависимости от времени также убывает по закону прямой.

Применяя закон импульса силы, получим продолжительность второго периода отката:

$$\theta_3 = \frac{2Q_0V_к}{g(R_к + R_\lambda)}.$$

Полное время отката будет:

$$t_{от} = t_д + t' + \frac{2Q_0V_к}{g(R_к + R_\lambda)}.$$

§ 10. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЛИНЫ ОТКАТА ПРИ ПЕРЕМЕННОМ СОПРОТИВЛЕНИИ ОТКАТУ

При точном решении задачи для силы R, убывающей во втором периоде отката по закону прямой линии в зависимости от пути, получается следующее выражение для пути отката:

$$\lambda = \frac{B - \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A},$$

где

$$A = Q_0 \cos\varphi;$$
$$B = 2Q_6D_0;$$
$$C = mh\frac{Q_0V_к^2}{g} + 2Q_6D_0X_к - Q_0X_к^2\cos\varphi.$$

Пояснение. В течение второго периода сила R убывает в зависимости от условий устойчивости орудия, имея в начале второго периода значение

$$R_{II\,н} = \frac{Q_6D_0 - Q_0X_к\cos\varphi}{mh}, \qquad (1)$$

а в конце отката

$$R_{II\,к} = \frac{Q_6D_0 - Q_0\lambda\cos\varphi}{mh}. \qquad (2)$$

Работа силы R во втором периоде отката определится как площадь трапеции:

$$A_{II} = \frac{R_{II\,н} + R_{II\,к}}{2}(\lambda - X_к). \qquad (3)$$

Величина работы силы R во втором периоде отката равняется живой силе откатных частей в начале второго периода отката, поэтому

$$\frac{R_{II\,н} + R_{II\,к}}{2}(\lambda - X_к) = \frac{Q_0V_к^2}{2g}. \qquad (4)$$

Подставляя в формулу (4) вместо $R_{II\,н}$ и $R_{II\,к}$ их выражения из формул (1) и (2), получим квадратное уравнение относительно λ:

$$A\lambda^2 - B\lambda + C = 0. \qquad (5)$$

§ 11. ПРИМЕР НА РАСЧЕТ ДВИЖЕНИЯ ОТКАТА, ТОРМОЖЕННОГО ПЕРЕМЕННОЙ СИЛОЙ R

Дано:

$d = 76$ *мм*; $S = 46$ *см*^{2}; $P_{max} = 2500$ *кг/см*^{2}; $Q_б = 1600$ *кг*;

$H = 1$ *м*; $e = 20$ *мм* $= 0{,}02$ *м*; $\Delta H = 15$ *мм* $= 0{,}015$ *м*;

$L = 2{,}7$ *м*; $D_ц = 2{,}6$ *м*; $D_0 = 2{,}5$ *м*; $Q_0 = 600$ *кг*; $q = 6{,}5$ *кг*;

$\omega = 1{,}2$ *кг*; $l_д = 2{,}4$ *м*; $P_д = 650$ *кг/см*^{2};

$X_к \approx L_к = 0{,}087$ *м*; $t_к = 0{,}0134$ сек.

Элементы свободного отката — см. выше, в § 6.
Расчет произвести для $\varphi_{пр} = 0°$ при $m = 1{,}1$.
Решение.
1. Плечо силы R относительно опоры сошника

$$h = h_0 = H - e + \Delta H;$$

$$h = 1 - 0{,}02 + 0{,}015 = 0{,}995 \text{ м} \approx 1 \text{ м}.$$

2. Сопротивление откату в начале движения

$$R_0 = \frac{Q_б D_0}{mh} - \frac{P_{кн,\,max} \cdot e}{mh};$$

$$R_0 = \frac{1600 \cdot 2{,}5}{1{,}1 \cdot 1} - \frac{2500 \cdot 46 \cdot 0{,}02}{1{,}1 \cdot 1} = 3640 - 2090;$$

$$R_0 = 1550 \text{ кг}.$$

3. Сопротивление $R_к$ в конце последействия газов

$$R_к = \frac{Q_б D_0 - Q_0 L_к \cos\varphi}{mh};$$

$$R_к = \frac{1600 \cdot 2{,}5 - 600 \cdot 0{,}087 \cdot 1}{1{,}1 \cdot 1} = \frac{4000 - 52{,}2}{1{,}1};$$

$$R_к = 3589 \text{ кг}.$$

4. Скорость отката в конце первого периода

$$V_к = W_{max} - \frac{(R_0 + R_к)\, g}{2Q_0} t_к =$$

$$= 9{,}75 - \frac{(1550 + 3589) \cdot 9{,}81}{2 \cdot 600} 0{,}0134 = 9{,}11 \frac{м}{сек}.$$

5. Путь торможенного отката в конце первого периода (вычислим для сравнения с $L_к$)

$$X_к = L_к - \frac{W_{max} - V_к}{2} t' =$$

$$= 0{,}087 - \frac{9{,}75 - 9{,}11}{2} 0{,}0134 = 0{,}083 \text{ м}.$$

Вывод: можно принимать $X_к \approx L_к$.

6. Длина отката по точной формуле, обеспечивающей заданный запас устойчивости в конце отката,

$$\lambda = \frac{B - \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A},$$

где

$$A = Q_0 \cos\varphi = 600 \text{ кг};$$

$$B = 2Q_6 D_0 = 2 \cdot 1600 \cdot 2{,}5 = 8000 \text{ кгм};$$

$$C = mh\frac{Q_0 V_к^2}{g} + 2Q_6 D_0 X_к - Q_0 X_к^2 \cos\varphi;$$

$$C = 1{,}1 \cdot 1\,\frac{600 \cdot 9{,}11^2}{9{,}81} + 2 \cdot 1600 \cdot 2{,}5 \cdot 0{,}083 - 600 \cdot 0{,}083^2 = 6241 \text{ кгм}^2.$$

$$\lambda = \frac{8000 - \sqrt{8000^2 - 4 \cdot 600 \cdot 6241}}{2 \cdot 600} = 0{,}835 \text{ м}.$$

7. Сопротивление откату в конце отката:

$$R_\lambda = \frac{Q_6 D_0 - Q_0 \lambda \cos\varphi}{mh} = \frac{1600 \cdot 2{,}5 - 600 \cdot 0{,}835}{1{,}1 \cdot 1} = 3180 \text{ кг}.$$

8. Продолжительность второго периода отката

$$\theta_з = \frac{2Q_0 V_к}{g(R_к + R_\lambda)},$$

$$\theta_з = \frac{2 \cdot 600 \cdot 9{,}11}{9{,}81\,(3589 + 3180)} = 0{,}164 \text{ сек}.$$

9. Продолжительность всего отката

$$t_{от} = t_к + \theta_з,$$

$$t_{от} = 0{,}0134 + 0{,}164 = 0{,}1774 \text{ сек}.$$

§ 12. ПРОВЕРКА ВОЗМОЖНОСТИ ОТКАТА ПРИ СТРЕЛЬБЕ ПОД НАИБОЛЬШИМ УГЛОМ ВОЗВЫШЕНИЯ

После определения необходимой длины отката при малых углах возвышения (исходя из устойчивости орудия и полного торможения при откате) необходимо проверить, чтобы не было удара казенной части откатных частей об основание в конце отката при наибольшем угле возвышения.

Для большей наглядности следует вычертить в масштабе общую схему проектируемого орудия и по ней проверить, возможна ли стрельба под наибольшим углом возвышения, а также наметить пути решения этой задачи (рис. 95).

Для того чтобы откат был возможен при наибольшем угле возвышения, необходимо, чтобы удовлетворялось следующее неравенство:

$$H_{ц} > (\lambda + l_{ц}) \sin \varphi_{max} + r \cos \varphi_{max},$$

где $l_{ц}$ — расстояние (по направлению, параллельному оси канала ствола) от оси цапф (O) до плоскости, перпендикулярной к оси канала ствола и проходящей через нижнюю точку откатных частей (A), которая может первой коснуться грунта; r — расстояние от нижней задней точки откатных частей (A) до линии, проходящей через ось цапф параллельно оси канала ствола. Величина r является положительной, если при $\varphi = 0°$ нижняя задняя точка откатных частей ниже горизонта оси цапф.

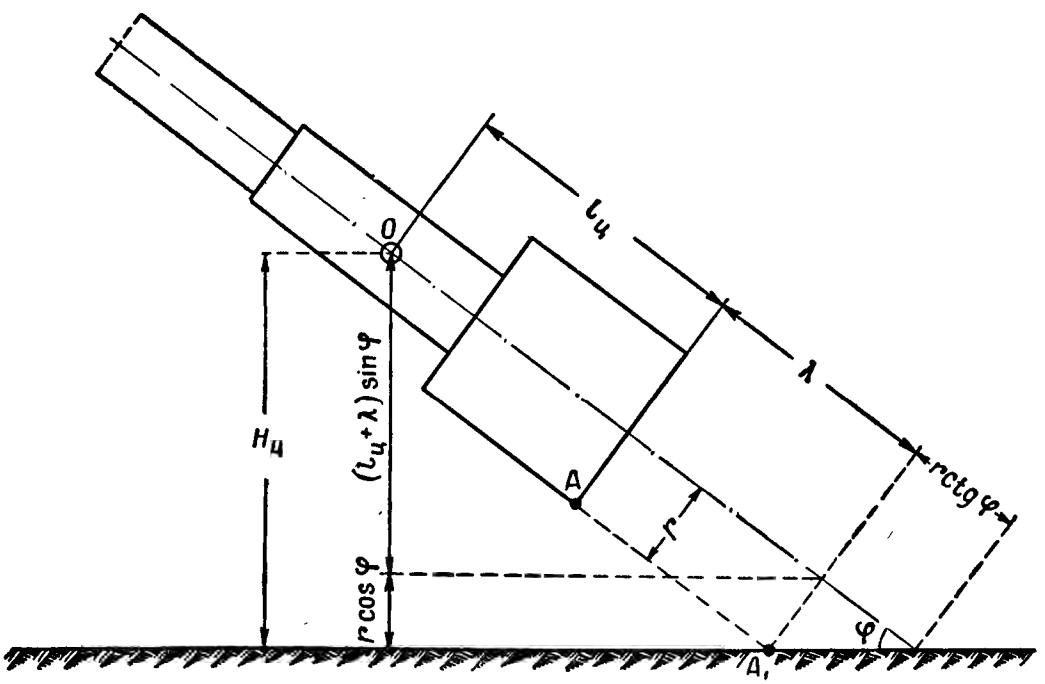


Рис. 95. Схема для определения возможности отката при наибольшем угле возвышения

Если окажется, что это неравенство не удовлетворяется, то следует либо уменьшить величину $l_{ц}$, т. е. отнести цапфы ближе к казенному срезу, либо увеличить высоту оси цапф ($H_{ц}$), а значит, и высоту линии огня, либо применить переменный откат, либо, наконец, сделать и то, и другое одновременно.

В практике известны подобные решения, однако каждое из них имеет свои недостатки. Так, отнесение цапф назад вызывает перевес дульной части орудия, что затрудняет выполнение вертикальной наводки, для облегчения которой приходится вводить уравновешивающий механизм, усложняющий конструкцию лафета.

Увеличение высоты линии огня связано с увеличением предельного угла устойчивости орудия, что, конечно, нежелательно. Поэтому в малокалиберных и легких орудиях высота линии огня иногда делается переменной, как, например, у 76-*мм* горной пушки обр. 1909 г., где применена коленчатая боевая ось, которая может поворачиваться на 180° и занимать одно из двух положений: коленом вниз — для стрельбы при малых углах возвышения и коленом вверх — для стрельбы при больших углах возвышения.

Для получения переменной высоты линии огня можно также снять колеса, либо ввести механизм, автоматически меняющий положение оси цапф при изменении угла возвышения.

При постановке орудия на огневую позицию нужно обеспечить возможность стрельбы при всех углах возвышения, имея в виду не только нормальную длину отката (для каждого угла возвышения длина отката своя), но и увеличенную на 10—15%. Поэтому необходимо тщательно подготовлять и проверять орудийную площадку до начала стрельбы и удалять с нее все, что мешает откату. Надо проверять противооткатные устройства перед каждой стрельбой и приводить их в исправное состояние.

ГЛАВА V

КЛАССИФИКАЦИЯ И ОСНОВНЫЕ СХЕМЫ ПРОТИВООТКАТНЫХ УСТРОЙСТВ

§ 1. КЛАССИФИКАЦИЯ ПРОТИВООТКАТНЫХ УСТРОЙСТВ И ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К НИМ

Противооткатные устройства предназначаются для постепенного поглощения энергии отката (на всем его пути), приобретаемой откатными частями при выстреле, и для последующего возвращения и удержания откатных частей в переднем положении до выстрела. Они состоят в основном из гидравлического тормоза отката и наката и накатника. Тормоз отката и наката, как правило, представляет собой один агрегат — тормоз отката с двумя регулирующими сопротивление устройствами.

Все противооткатные устройства с точки зрения взаимной зависимости работы накатника и тормоза делятся на два типа:

I тип — противооткатные устройства, представляющие собой два агрегата, у которых действие тормоза не зависит от действия накатника (орудия нашей наземной артиллерии, см. рис. 132 и 134);

II тип — противооткатные устройства, представляющие собой один агрегат (иногда называемый тормозом отката-накатником), у которого действие тормоза зависит от действия накатника (широко распространен в американской и французской артиллерии, см. рис. 106).

С точки зрения взаимного расположения на орудии противооткатные устройства I типа делятся на две группы:

1) противооткатные устройства, у которых тормоз и накатник конструктивно связаны друг с другом (например, у 45-*мм* противотанковой пушки, см. рис. 96);

2) противооткатные устройства, у которых тормоз и накатник конструктивно отделены друг от друга (например, у 57-*мм* пушки обр. 1943 г., у 85-*мм* зенитной пушки обр. 1939 г. и у 122-*мм* гаубицы обр. 1938 г., см. рис. 132 и 134).

По своему положению относительно ствола противооткатные устройства I типа делятся на две группы:

1) противооткатные устройства с симметричным расположением тормоза и накатника относительно ствола орудия (например, у 57-*мм* пушки обр. 1943 г. и у большинства наших орудий, сконструированных после 1930 г.);

2) противооткатные устройства с несимметричным расположением тормоза и накатника относительно ствола орудия (например, у 76-*мм* горной пушки обр. 1938 г. и у большинства русских артиллерийских орудий начала XX в„ см. рис. 131).

В зависимости от того, какие части противооткатных устройств являются подвижными, различают:

1) противооткатные устройства с откатывающимися цилиндрами тормоза и накатника (см. рис. 131);

2) противооткатные устройства с откатывающимися штоками (у большинства современных орудий).

Основные требования, предъявляемые к противооткатным устройствам артиллерийских орудий:

1. Живая сила откатных частей должна полностью поглощаться как при откате, так и во время наката. Длина отката не должна выходить из указанных пределов.

2. Накат должен происходить плавно и быстро (при всех условиях стрельбы) с возвращением откатных частей в исходное положение перед выстрелом. Скорость наката должна обеспечивать безотказную работу механизмов, приводимых в действие энергией наката.

3. Действие противооткатных устройств не должно зависеть от темпа стрельбы, атмосферных условий и боевой обстановки (пыль, грязь, вода не должны попадать внутрь).

4. Противооткатные устройства должны действовать безотказно.

5. Сопротивление противооткатных устройств откату и накату должно удовлетворять условию устойчивости орудия.

6. Тормоз не должен оказывать значительного сопротивления откату и накату ствола орудия без выстрела.

7. Регулировка противооткатных устройств должна совершаться просто, без больших разборок. Желательно иметь указатели количества жидкости и давления.

8. Противооткатные устройства должны быть простыми и дешевыми в изготовлении.

9. Замена поврежденных деталей противооткатных устройств должна производиться быстро и легко.

§ 2. КЛАССИФИКАЦИЯ НАКАТНИКОВ И ОСНОВНЫЕ СХЕМЫ ИХ УСТРОЙСТВА

Основное назначение накатников — накатывание ствола орудия после выстрела в исходное положение и удержание его в этом положении до следующего выстрела, а также при

передвижении орудия (независимо от наличия механизмов крепления по-походному). Во время отката накатник участвует также в торможении откатных частей, поглощая часть живой силы и аккумулируя энергию для последующего их наката.

Все накатники современных артиллерийских орудий могут быть подразделены в зависимости от природы упругой среды, аккумулирующей энергию во время отката для совершения работы при накате ствола, на два основных типа: пружинные накатники и газовые (воздушные), или пневматические. В зависимости от конструкции накатников принята следующая их классификация:

Пружинные накатники			Пневматические накатники		
с цилиндрическими винтовыми пружинами		с тарельчатыми пружинами	гидропневматические		пневматические
располагаемыми в один ряд	с телескопическим расположением		с непосредственным соприкосновением воздуха (или газа) и жидкости	с плавающим поршнем	

Примечания: 1. В накатниках ряда орудий вместо воздуха в качестве упругой среды применяется азот.

2. У 76-*мм* пушки обр. 1900 г. накатник каучуковый. Основной недостаток каучука — хрупкость при низких температурах.

3. Были образцы накатников со стержневыми (торсионными) пружинами.

а) Пружинные накатники

Основным достоинством пружинных накатников является простота их конструкции и постоянство действия в течение длительного времени без регулировки. Пружинные накатники для крупных систем получаются очень громоздкими и неудобными для разборки и сборки. В настоящее время пружинные накатники применяются главным образом в орудиях малого калибра и в горных орудиях.

Схема однорядного пружинного накатника, надетого на цилиндр тормоза, показана на рис. 96 (такие накатники имеются у 76-*мм* пушки обр. 1902 г., 45-*мм* противотанковой пушки и др.). Схема накатника с телескопическими пружинами показана на рис. 97 (имеется у 76-*мм* горной пушки обр. 1938 г.).

Накатник с телескопическим расположением пружин может быть сделан почти вдвое короче, чем однорядный пружинный накатник, так как пружины можно рассчитать так, чтобы каждая из них сжималась на половину длины отката.

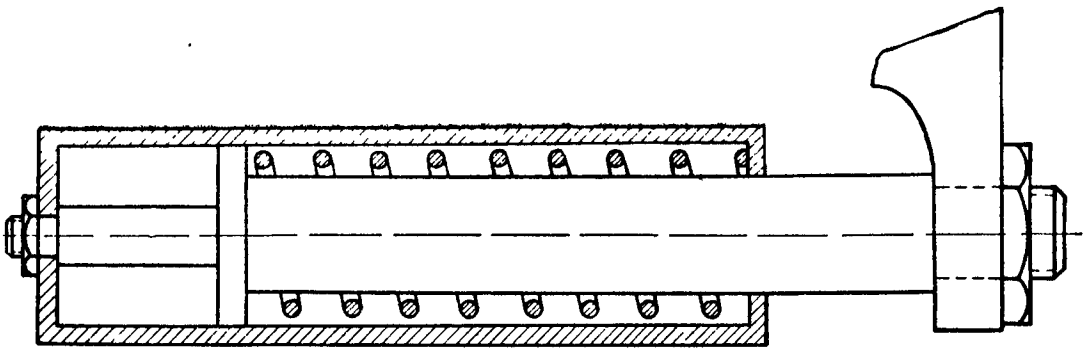


Рис. 96. Схема однорядного пружинного накатника

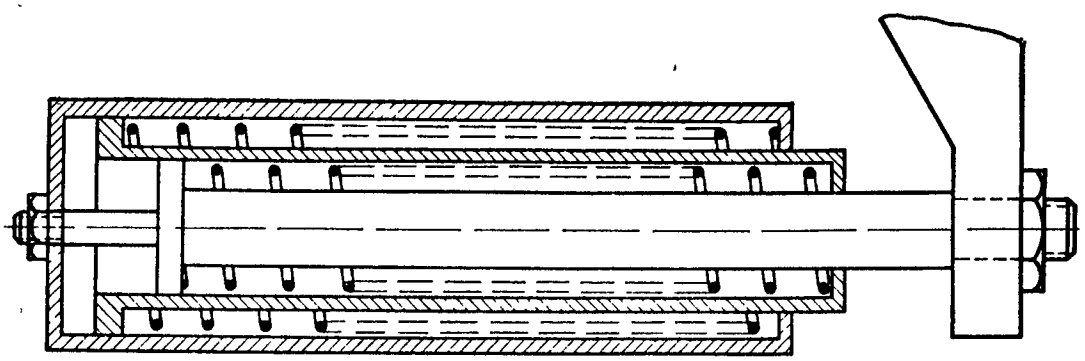


Рис. 97. Схема накатника с телескопическим расположением пружин

Пружины накатников описанных типов обычно имеют круглое или прямоугольное сечение витка. Тарельчатые пружины для накатников в настоящее время почти не применяют.

б) Пневматические накатники (воздушные или азотные) и гидропневматические накатники

Преимуществами пневматического накатника по сравнению с пружинным являются его меньший вес, компактность, возможность изменения его усилия без особых затруднений в случае модернизации орудия. Кроме того, применение сжатого воздуха (или какого-либо нейтрального газа, например, азота) в качестве упругой среды для аккумулирования энергии для наката делает этот тип накатников для орудий средних и крупных калибров наиболее дешевым и простым в изготовлении, что особенно важно в военное время.

К недостаткам пневматического накатника следует отнести зависимость усилия его от температуры, а также трудность предупреждения утечки воздуха (газа) из резервуаров воздушного накатника и, как следствие, необходимость постоянного наблюдения за давлением воздуха внутри накатника и своевременного пополнения убыли воздуха. Более надежная закупорка газа получается в противооткатных устройствах II типа (представляющих собой один агрегат, см. рис. 106).

На рис. 98, 99 и 100 приведены схемы различных воздушных накатников.

Гидропневматический накатник с непосредственным соприкосновением воздуха (газа) и жидкости (рис. 98, 131 и 132)

Жидкость в гидропневматическом накатнике является гидравлическим запором для воздуха накатника, изолирующим этот воздух от сальниковых устройств. Кроме того, жидкость охлаждает воздух в накатнике при интенсивной стрельбе.

Цилиндр накатника *a*, наполненный жидкостью, сообщается соединительным каналом *b* с воздушным резервуаром *c*, наполненным частично жидкостью и сжатым воздухом, причем в нем должно быть столько жидкости, чтобы при всех углах возвышения соединительный канал *b* был перекрыт, т. е. чтобы не было утечки воздуха из цилиндра через сальник и

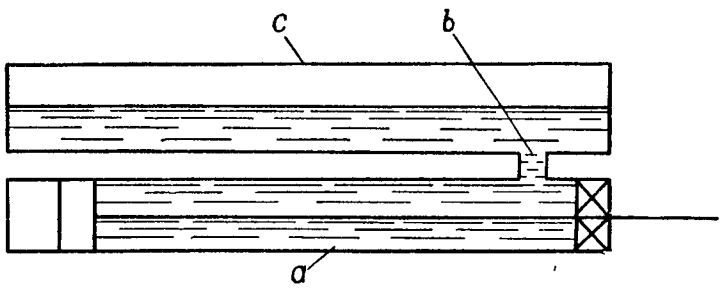


Рис. 98. Схема гидропневматического накатника с непосредственным соприкосновением воздуха (или азота) с жидкостью

уплотнения. В цилиндре *a* помещается поршень, шток которого присоединен к стволу (или к люльке). При выстреле откатываются шток с поршнем (или цилиндры). При этом поршень перегоняет жидкость из цилиндра накатника в воздушный резервуар и сжимает в нем воздух. По прекращении отката воздух, разжимаясь, гонит жидкость обратно в цилиндр *a*. В результате давления жидкости на откатные части накатника происходит накат. Этот тип накатников является основным в нашей артиллерии и в артиллерии многих других стран (см. рис. 131 и 132).

Преимуществом таких накатников является большая их простота и дешевизна изготовления и ремонта.

Накатники некоторых полевых систем с откатывающимися цилиндрами имеют по три цилиндра для устранения возможности сообщения сжатого воздуха в накатнике с сальниковыми уплотнениями (например, накатник 76-*мм* пушки обр. 1942 г.).

Гидропневматический накатник с плавающим поршнем

В этом накатнике (рис. 99) жидкость отделена от воздуха плавающим поршнем *a*, вследствие чего уменьшается возможность утечки воздуха и образования коррозии (воздух, сопри-

касающийся с жидкостью, растворяется в ней и затем окисляет стенки цилиндра). Недостатком накатника данного типа является сложность конструкции в связи с наличием плавающего поршня.

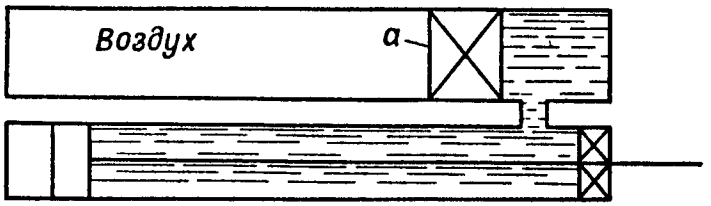


Рис. 99. Схема гидропневматического накатника с плавающим поршнем

Пневматический накатник

Цилиндры накатника (рис. 100) полностью заполнены воздухом, а жидкость имеется лишь в уплотнениях штока и поршня и благодаря особому устройству этих уплотнений находится там под бо́льшим давлением, чем воздух накатника.

Принцип устройства таких уплотнений следующий. Внутри стакана *b* поршня накатника помещается уплотняющий поршень *a*, шток которого выходит наружу. Жидкость, находящаяся позади уплотняющего поршня, сжимается давлением воздуха накатника, действующего на переднюю поверхность поршня. Вследствие разности величин передней и задней рабочих поверхностей поршня *a* давление жидкости будет больше, чем давление воздуха накатника [1]. Жидкость по специальным каналам поступает к сальникам и плотно прижимает кожаные воротники *c*, обеспечивая таким образом надежность их работы.

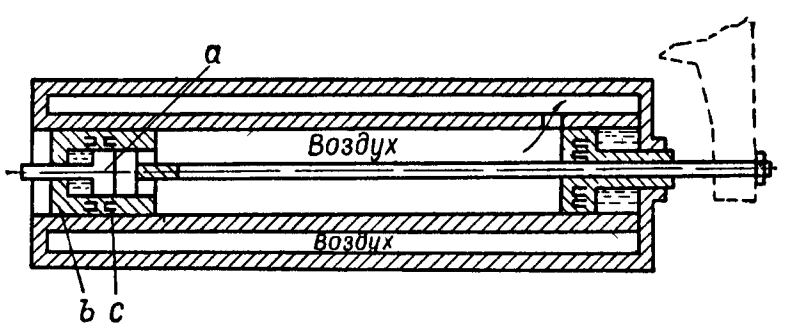


Рис. 100. Схема пневматического накатника

Эти накатники очень компактны и почти не подвержены коррозии, но сложность сальниковых уплотнений препятствует их широкому распространению. Применяются пневматические накатники в корабельной и береговой артиллерии.

[1] Действие уплотняющего поршня аналогично действию грибовидного стержня в поршневом затворе орудия с картузным заряжанием.

§ 3. КЛАССИФИКАЦИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ТОРМОЗОВ И СХЕМЫ ИХ УСТРОЙСТВА. КОМПЕНСАТОРЫ ЖИДКОСТИ В ТОРМОЗАХ ОТКАТА

Гидравлический тормоз является преобразователем кинетической энергии отката в тепловую энергию нагревающихся деталей и жидкости. Гидравлический тормоз отката, как показывает само название, предназначается в основном для торможения откатных частей во время отката.

Сущность действия этого тормоза отката заключается в том, что при откате находящаяся в нем жидкость сжимается и пробрызгивается с большой скоростью через имеющиеся в тормозе специальные малые отверстия; в результате сопротивления жидкости и возникает сопротивление тормоза откату.

Струи жидкости после ряда отражений разбиваются, и их движение переходит в тепловое движение молекул. Во время наката жидкость тормоза будет также тормозить накат орудия. Но так как сопротивление тормоза отката при накате сравнительно мало (благодаря малым скоростям) и недостаточно для поглощения всей избыточной энергии накатника, то в конструкцию гидравлического тормоза отката обычно вводят специальное устройство, называемое тормозом наката, предназначенное для торможения наката. В отдельных случаях роль дополнительного тормоза наката выполняет клапан гидропневматического накатника, частично перекрывающий отверстие, соединяющее цилиндр накатника с воздушным резервуаром (85-*мм* зенитные пушки обр. 1939 г.). Все существующие тормозы отката и наката могут быть подразделены на группы по типам, перечисленным ниже в табл. 1 и 2; при этом основным признаком для классификации тормозов отката и наката является способ регулирования отверстий истечения жидкости во время отката или наката.

СХЕМЫ УСТРОЙСТВА ТОРМОЗОВ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ

Тормозы веретенного типа

Тормоз, в котором регулировка отверстий истечения жидкости производится с помощью контрштока переменного сечения, называется тормозом веретенного типа. Контршток в тормозе данного типа называется веретеном.

Имеются две разновидности тормоза веретенного типа:

а) для постоянной длины отката — с веретеном круглого сечения, но переменного диаметра;

б) для переменной длины отката — с цилиндрическим веретеном, на котором имеются канавки.

Таблица 1

Классификация тормозов отката

Принципы классификации	В зависимости от единства действия тормоза и накатника		В зависимости от длины отката		По связи тормоза с накатником (когда они представляют два агрегата)		По способу регулирования величины отверстий истечения жидкости во время отката и наката						
Типы тормозов	действие тормоза не зависит от действия накатника (два агрегата)	действие тормоза зависит от действия накатника (один агрегат)	с постоянной длиной отката	с переменной длиной отката, зависящей от угла возвышения	независимый в конструктивном отношении от накатника	конструктивно связанный с накатником	веретенного типа	со шпонками переменной высоты	с канавками переменной глубины или ширины	золотникового типа	клапанного типа	с постоянным отверстием истечения жидкости	комбинированные (сочетание нескольких указанных выше схем)
	(рис. 101 и 102)	(рис. 106)	(рис. 101 и 103)	(рис. 102 и 105)	(рис. 134)	(рис. 96 и 131)	(рис. 101)	(рис. 103)	(рис. 104)	(рис. 105)	(рис. 106)	(рис. 115)	(рис. 134)

Таблица 2

Классификация тормозов наката

Принципы классификации	По длине пути торможения		По связи с тормозом отката и накатником			По способу регулирования отверстий истечения жидкости во время наката						
Типы тормозов	действующие на всей длине наката	действующие не на всей длине наката	самостоятельный агрегат	конструктивно связанный с тормозом отката в единый агрегат	конструктивно связанный с накатником в единый агрегат	с контрштоком (иглой) переменного сечения, т. е. веретенного типа	со шпонками переменной высоты	с канавками переменной глубины	золотникового типа	клапанного типа	с постоянным отверстием истечения жидкости	комбинированные (сочетание двух способов регулирования отверстий)
	(рис. 101 и 102)	(рис. 103—105)		(почти все тормозы наката)	(как дополнительный тормоз)	(рис. 103 и 104)		(рис. 101 и 102)	(рис. 105)	(рис. 106)		

а) Тормозы веретенного типа для постоянной длины отката и с торможением наката на всей длине

Схема такого тормоза показана на рис. 101.

Тормоз состоит из цилиндра a, наполненного жидкостью, внутри которого помещается поршень n с полым штоком b. На внутренней поверхности штока прострогаиы канавки переменной глубины. В полость штока входит веретено c, прикрепленное к дну цилиндра тормоза. На конце веретена помещается клапан d тормоза наката (модератор). Во время отката большая часть жидкости пробрызгивается с большой скоростью через кольцевой зазор между регулирующим кольцом $к$, ввинченным в поршень, и веретеном. Веретено переменного сечения, причем его диаметр рассчитывается так,

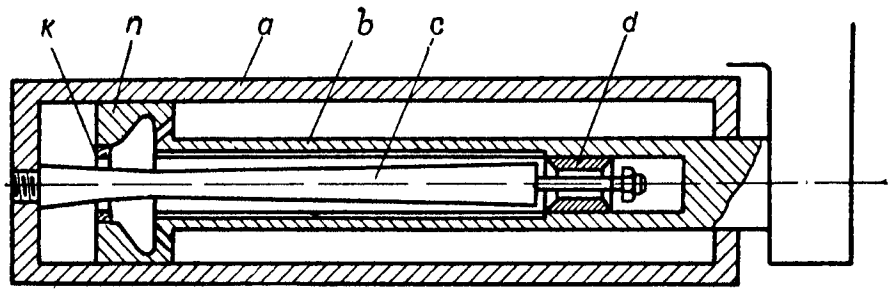


Рис. 101. Схема тормоза веретенного типа для постоянной длины отката и с торможением наката на всей длине

чтобы сопротивление тормоза отвечало желаемому закону его изменения во время отката. Остальная часть жидкости проходит по каналу штока, отодвигает клапан тормоза наката (модератор) и через отверстия последнего и по канавкам внутри штока заполняет освободившееся вследствие выхода веретена пространство внутри штока.

Так как во время отката шток поршня выходит из цилиндра тормоза, то в последнем перед поршнем образуется вакуум. Если обозначить через $d_ш$ диаметр штока, то объем вакуума W_λ к концу отката будет равен

$$W_\lambda = \frac{\pi d_ш^2}{4}\lambda,$$

где λ — длина отката.

Во время наката веретено будет входить внутрь штока и вытеснять жидкость, находящуюся в полости штока. Создавшимся внутри штока давлением клапан тормоза будет теперь прижат к веретену, поэтому жидкость сможет проходить только по канавкам, прострогаиным на внутренней поверхности штока. Так как сечение канавок очень мало, то протекание

жидкости будет затруднено, вследствие чего с момента начала наката будет происходить торможение накатывающихся частей.

Канавки являются расчетным элементом тормоза наката.

Когда накатывающиеся части пройдут путь ρ ($\rho = \frac{d_{ш}^2}{D_{п}^2}\lambda$, где $D_{п}$ — диаметр поршня), во время которого будет выбран вакуум, образовавшийся во время отката, жидкость начнет пробрызгиваться под давлением через поршень в обратном направлении, и с этого момента тормоз отката также примет участие в торможении наката.

При таком устройстве тормоза избыточная энергия накатника поглощается на всей длине наката, поэтому накат получается плавным. Тормозы этой конструкции имеют широкое распространение (см. рис. 131).

б) Тормоз отката веретенного типа для переменной длины отката с торможением наката на всей длине наката

У тормоза данного типа (рис. 102) веретено имеет постоянный наружный диаметр. На веретене сделано несколько канавок переменной глубины (чаще всего четыре). Часть канавок (обычно половина их) большой длины, а остальные короткие.

Внутри поршня помещается особый регулирующий вкладыш, представляющий собой короткий полый цилиндр с окнами в его стенках. Вкладыш не может вращаться относительно поршня, так как его наружные шпоночные выступы входят в соответствующие гнезда в поршне. От продольного перемещения в поршне вкладыш удерживается гайкой, ввинчиваемой в поршень. Внутренний диаметр вкладыша очень мало отличается от наружного диаметра веретена. При откате жидкость пробрызгивается через наклонные отверстия в поршне, затем через окна во вкладыше и, наконец, через канавки на веретене.

Веретено при изменении угла возвышения во время работы подъемным механизмом вращается при помощи особого механизма (B), благодаря чему канавки веретена могут занимать различное положение относительно окон во вкладыше.

В зависимости от положения веретена во вкладыше изменяется доступ жидкости к канавкам, и, следовательно, в зависимости от угла возвышения изменяются отверстия истечения жидкости. При расположении всех канавок под окнами вкладыша открывается более широкий доступ для прохода жидкости, в результате чего получается наименьшее сопротивление при откате и наибольшая длина отката (положение A на рис. 102). При перекрытии длинных канавок (при больших

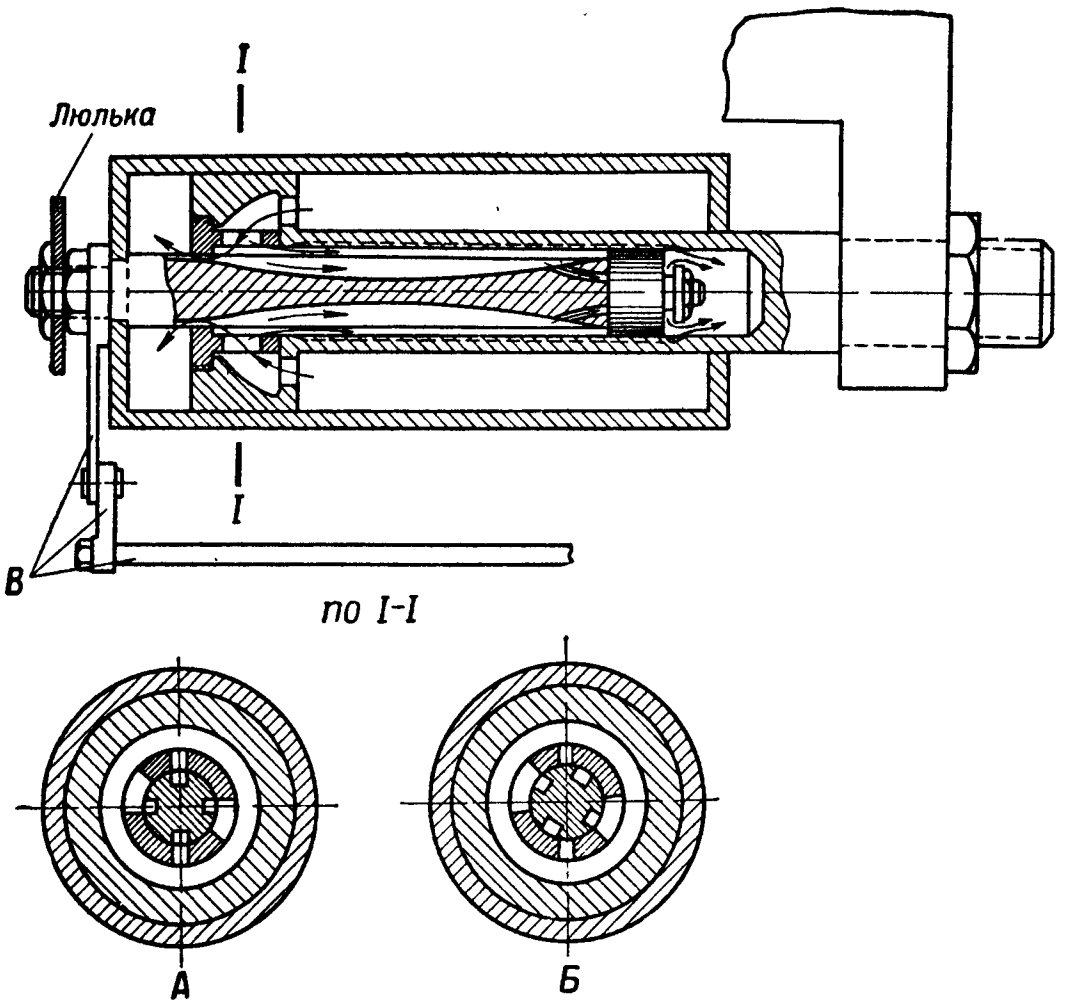


Рис. 102. Тормоз отката веретенного типа для переменной длины отката с торможением наката на всей длине

углах возвышения) жидкость идет только по коротким канавкам, результатом чего является большее сопротивление и меньшая длина отката (положение *Б* на рис. 102).

Устройство тормоза наката ничем не отличается от устройства тормоза с веретеном переменного диаметра без канавок на наружной поверхности.

в) Тормоз отката со шпонками и веретенным или игольчатым тормозом наката

Схема устройства такого тормоза показана на рис. 103.

На внутренней поверхности цилиндра тормоза прострагивают несколько пазов в виде ласточкина хвоста, в которые вставляют шпонки *а* переменной высоты. На поршне имеются соответствующие канавки, причем глубина их h_{max} (рис. 121) равна наибольшей высоте выступающей из стенки цилиндра части шпонки. Внутрь штока входит короткий контршток *b* в виде иглы переменного диаметра.

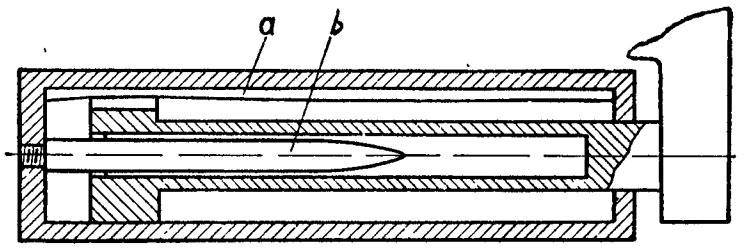


Рис. 103. Схема тормоза отката со шпонками и с веретенным или игольчатым тормозом наката

Во время отката жидкость пробрызгивается в отверстия между шпонками и стенками канавок поршня, причем благодаря переменной высоте шпонок торможение отката происходит по желаемому закону сопротивления. Игла является деталью, при помощи которой регулируется величина отверстия тормоза наката. Тормоз наката этого типа веретенный, так как игла является веретеном. Обычно игла делается короткой и включается в работу только на последнем участке наката, что допустимо в системах, обладающих большой устойчивостью при накате. Поэтому торможение наката здесь происходит не сразу, а лишь с момента окончания выбора вакуума, причем сначала начинает действовать тормоз отката, а когда игла, входя в шток, начнет вытеснять из него жидкость, накат будет тормозиться и тормозом наката.

Эти тормозы достаточно просты в изготовлении. Тормоз такого типа применяется в стационарных тяжелых системах.

г) Тормоз отката с канавками переменной глубины и с веретенным (игольчатым) тормозом наката

Действие этого тормоза (см. схему на рис. 104) аналогично действию тормоза со шпонками.

Производство этого тормоза менее выгодно, так как нарезание канавок переменной глубины удорожает изготовление его цилиндра и требуется толстостенный цилиндр.

Тормоз такого типа имеется, например, у 45-*мм* противотанковой пушки.

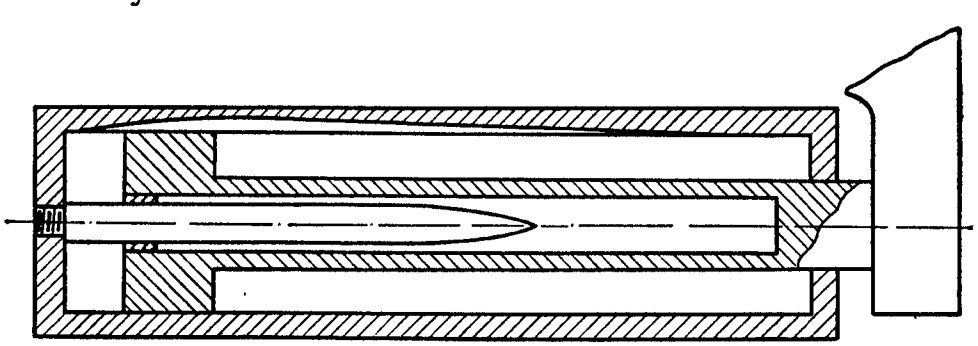


Рис. 104. Схема тормоза отката с канавками переменной глубины и с веретенным (игольчатым) тормозом наката

Примечание. В ряде иностранных систем переменная площадь канавок получается при постоянной их глубине за счет переменной ширины. При переменной ширине канавок выгодно применять лейнер для цилиндра тормоза. Вместо канавок в лейнере делают окна.

д) Тормоз золотникового типа с переменной длиной отката

Отличительной особенностью тормоза золотникового типа является то, что у него величина отверстия истечения жидкости регулируется путем поворота регулирующей детали во время отката.

Устройство этого тормоза следующее (рис. 105).

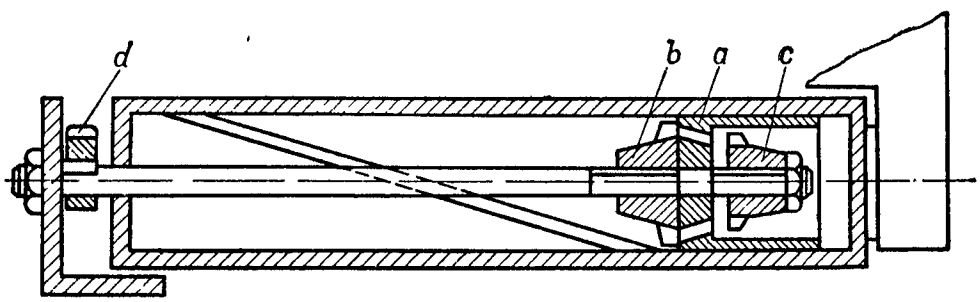


Рис. 105. Схема тормоза отката золотникового типа с переменной длиной отката

На конце штока свободно насажен поршень *a*, выступы которого входят в винтовые пазы, прострогапные на внутренней поверхности цилиндра тормоза. Вследствие этого поршень во время отката и наката поворачивается относительно установленных около него золотниковых дисков *b* и *c*, причем его окна занимают различные положения относительно вырезов в дисках. Во время отката диск *c* несколько отодвигается от поршня и не препятствует перетеканию жидкости. Очертания вырезов в дисках и окон в поршне рассчитаны так, что при поворачивании поршня отверстия истечения жидкости обеспечивают принятый закон торможения.

Во время наката, после того как будет выбран вакуум, образовавшийся вследствие выхода штока из цилиндра тормоза, жидкость пробрызгивается в обратном направлении через вырезы в диске *c*, и накат тормозится.

Эта конструкция тормоза позволяет легко изменять длину отката ствола орудия, для чего достаточно установить золотники относительно поршня так, чтобы отверстия были несколько перекрыты, вследствие чего сопротивление тормоза увеличится и откат уменьшится. Необходимый поворот штока с золотниками совершается автоматически во время придания орудию углов возвышения при помощи специального устройства, приводящего во вращение укрепленный на конце штока зубчатый сектор *d*. Устройство тормозов, изготовленных по этой схеме, простое.

Однако тормоз этой конструкции имеет следующие недостатки:

1. Регулировка отверстий истечения жидкости как при длинном, так и при коротком откате производится путем только одного поворота поршня, поэтому получить в обоих случаях теоретически наилучший закон сопротивления тормоза при откате и накате невозможно, вследствие чего лафет испытывает при стрельбе лишнюю нагрузку.

2. Торможение наката происходит не на всей длине отката, а лишь с момента выбора вакуума, поэтому сопротивление накату получается значительным и может вызвать нарушение устойчивости орудия.

3. Выступы поршня и грани винтовых вырезов довольно быстро изнашиваются.

По этой схеме заводом Виккерса изготовлены тормозы для ряда лафетов английских орудий (115-*мм* гаубица, 203-*мм* гаубица и др.).

В нашей артиллерии у тормозов золотникового типа винтовые канавки делают на контрштоке, поэтому во время отката и наката вращается золотник. Производство тормозов с канавками на контрштоке проще, причем цилиндры тормозов не ослабляются канавками.

е) Противооткатные устройства, представляющие единый агрегат, в котором действия тормоза и накатника взаимно связаны. Клапанный тип тормоза отката

Противооткатные устройства, представляющие собой единый агрегат (рис. 106), характеризуются следующими особенностями.

Эти устройства имеют гидропневматический накатник с плавающим поршнем и дополнительными приспособлениями, регулирующими отверстия истечения жидкости при перемещении ее во время отката и наката из гидравлического цилиндра в воздушный и обратно. Поэтому у противооткатных устройств этого типа имеются следующие части:

1. Воздушный цилиндр, внутри которого помещается плавающий поршень с наружным уплотняющим устройством; поршень должен надежно изолировать жидкость от газа.

2. Гидравлический цилиндр, сообщающийся специальными каналами с воздушным цилиндром.

3. Поршень со штоком, находящийся в гидравлическом цилиндре. Поршень имеет наружное уплотняющее устройство; отверстий для прохода жидкости в нем нет. Наружный конец штока, выходящий из цилиндра, соединяется с откатными частями орудия, если цилиндры неподвижны, или с люлькой, если цилиндры откатываются вместе с откатными частями.

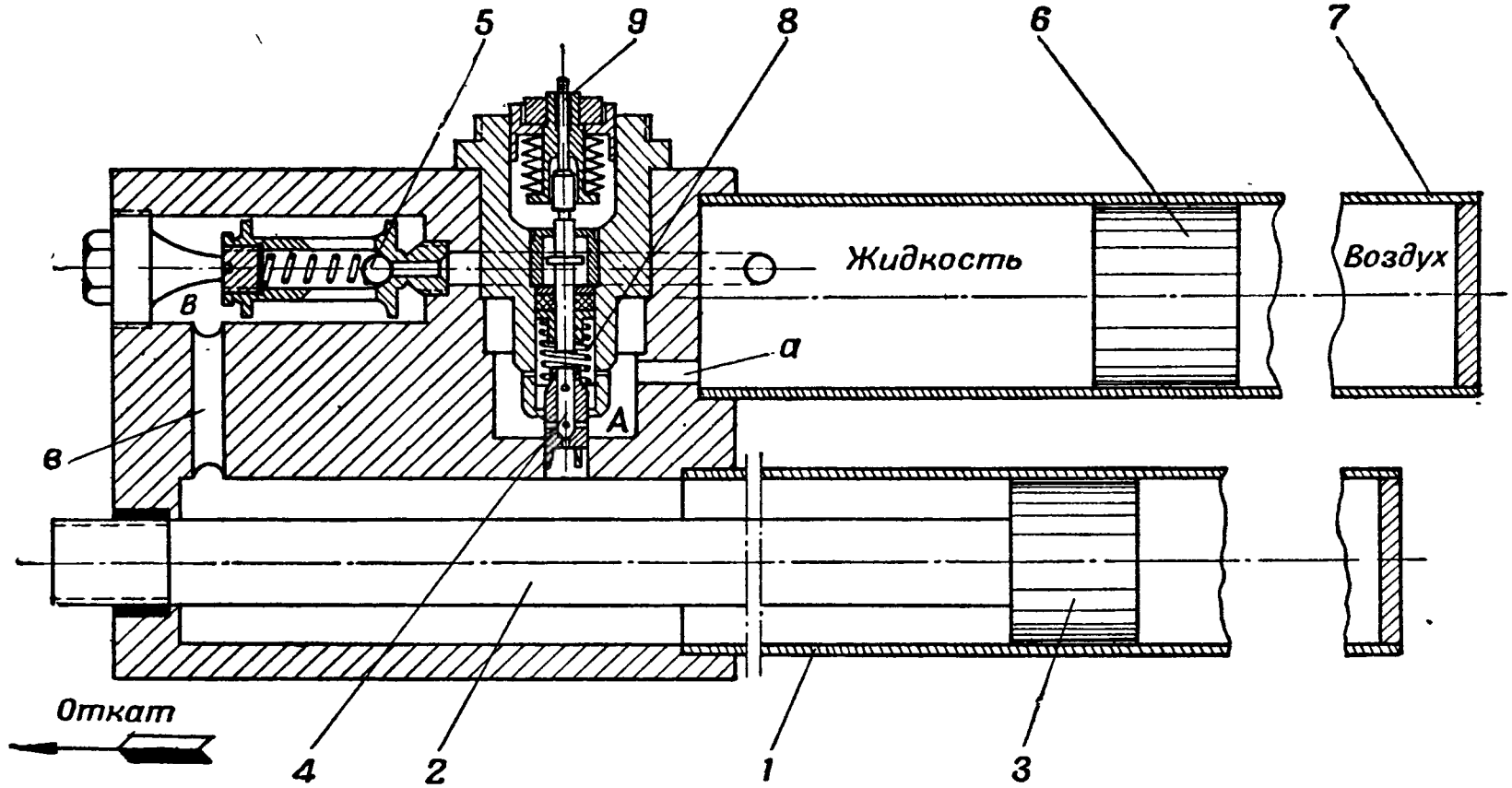


Рис. 106. Схема противооткатных устройств, представляющих собою единый агрегат (тормоз и накатник связаны в одно целое):

1 — цилиндр тормоза; *2* — шток; *3* — поршень; *4* — регулирующий клапан; *5* — клапан (шарик); *6* — плавающий поршень; *7* — воздушный цилиндр; *8* — пружина; *9* — регулирующий стержень; *а* — канал; *в* — отверстие

Часть штока, соприкасающаяся во время отката и наката с уплотняющим устройством крышки (или дна) гидравлического цилиндра, должна быть цилиндрической (как у всякого накатника). Часть штока (ближайшая к поршню), постоянно остающаяся внутри цилиндра, может служить веретеном, т. е. иметь переменное сечение. В этом случае длина цилиндра и штока должна быть примерно вдвое больше длины отката.

4. Два регулирующих устройства (как во всяком гидравлическом тормозе отката): одно для торможения отката, другое для торможения наката. Регулирующие устройства могут быть любого типа из числа применяемых в обычных тормозах отката (с некоторыми конструктивными особенностями).

В некоторых системах нашли применение регулирующие устройства: веретенного типа; со свободным клапаном (тарельчатым, стержневым, шариковым); с нагруженным клапаном (тарельчатым, стержневым, шариковым) с пружиной; канавочного типа; со свободным (без клапанов и золотников) отверстием постоянного сечения и другие.

Работа регулирующих устройств с помощью специального механизма может быть связана с положением качающейся части (с углом возвышения), как в системах с отдельным тормозом отката.

Чтобы понять, как действуют противооткатные устройства, представляющие собой единый агрегат, рассмотрим следующую схему (рис. 106).

В гидравлическом цилиндре *1* перемещается шток *2* с поршнем *3*. Шток соединен со стволом при помощи гайки. Все запоршневое пространство цилиндра заполнено жидкостью. При откате поршень *3* вытесняет жидкость из цилиндра *1* через полость *А* и канал *а* в воздушный цилиндр *7*, благодаря этому плавающий поршень *6* перемещается вперед, сжимая воздух. Воздух в цилиндре *7* надежно изолируется от жидкости плавающим поршнем *6*. Ход для жидкости через канал *в* при откате закрывается шариковым клапаном *5*. Регулировка отверстия истечения жидкости из цилиндра *1* в полость *А* осуществляется путем изменения положения регулирующего клапана *4*. Под действием пружины *8* клапан *4* стремится закрыть доступ жидкости из цилиндра *1* в полость *А*. Под действием давления жидкости клапан *4* проталкивается внутрь неподвижного корпуса клапана. Величина хода клапана зависит от давления жидкости в цилиндре *1*. Регулировка сопротивления клапана осуществляется путем изменения положения регулирующего стержня *9* и предварительного поджатия тарельчатых пружин, дополнительно сжимаемых при нажатии на стержень *9* клапаном *4*.

При накате сжатый воздух в цилиндре *7* толкает плавающий поршень *6* назад и заставляет жидкость перемещаться из цилиндра *7* через узкое отверстие, закрываемое до наката ша-

риковым клапаном *5*, в полость *В* и далее через канал *в* в гидравлический цилиндр *1*. Ход для жидкости через отверстие, закрываемое клапаном *4*, при накате закрыт.

Преимущества противооткатных устройств, составляющих единый агрегат, следующие. Противооткатные устройства этого типа можно сделать более компактными (один шток с поршнем вместо двух; жидкость накатника используется и для тормоза отката, вследствие чего в тормозе отката компенсатора жидкости не требуется).

На работу рассматриваемых противооткатных устройств изменение температуры почти не влияет. Длина отката не изменяется при незначительном изменении количества жидкости.

Недостаток конструкции — сложность устройства регулировочных путей, плавающего поршня и уплотнений для поршней.

Противооткатные устройства этого типа можно рекомендовать для орудий с большой скорострельностью.

Данная схема применяется и для орудий с переменной длиной отката. Для этого используется кулисный механизм, связанный через рычаг с направляющей втулкой стержня *9*. С увеличением угла возвышения рычаг приближает стержень *9* с его втулкой и тарельчатыми пружинами к клапану *4*, благодаря чему возрастает сопротивление при откате и уменьшается длина отката.

Компенсаторы жидкости в тормозах отката (рис. 107 и 108)

В противооткатных устройствах с независимым действием тормоза и накатника (в случае отсутствия дополнительного устройства — компенсатора) во время продолжительной интенсивной стрельбы получаются недокаты. Причиной этого является расширение жидкости в тормозе от нагревания при стрельбе, вследствие чего шток при накате не может полностью войти в цилиндр тормоза.

Недокаты могут также получаться вследствие уменьшения давления в накатнике и увеличения сопротивления на направляющих (грязь, заусенцы, деформация).

Если продолжать вести стрельбу при недокатах, то возможная длина пути отката ствола будет меньше длины пути нормального отката, вследствие чего сопротивление тормоза, необходимое для поглощения живой силы откатных частей, резко повысится в конце отката (откат с ударом); в результате этого может нарушиться устойчивость орудия, могут также поломаться детали лафета (в первую очередь штоки противооткатных устройств).

При получении возрастающих недокатов необходимо прекратить стрельбу и, если при осмотре никаких повреждений деталей не будет обнаружено, выпустить лишнюю жидкость

из цилиндра тормоза. Ствол должен накатиться, если недокат получился вследствие расширения жидкости в тормозе отката.

После продолжительного перерыва в стрельбе, в течение которого тормоз успеет охладиться, необходимо перед открытием огня долить жидкости в тормоз, так как в противном случае вследствие уменьшения объема жидкости от охлаждения тормоз на начальном участке отката почти совсем не будет оказывать сопротивления откату, к концу же отката сопротивление тормоза сильно возрастет, что вызовет резкие удары в конце отката.

Для того чтобы цилиндр тормоза был постоянно наполнен жидкостью независимо от температуры нагрева противооткатных устройств, применяются особые устройства, называемые компенсаторами жидкости.

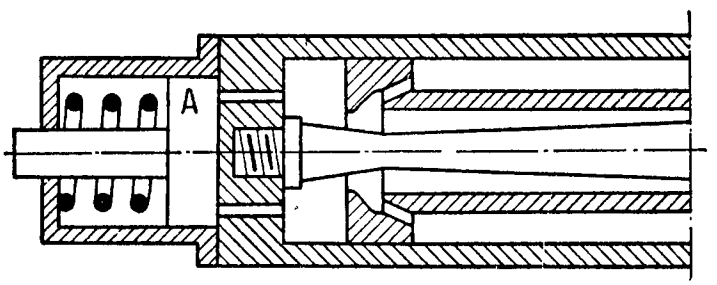


Рис. 107. Схема компенсатора жидкости с поршнем, находящимся под давлением пружины

Компенсаторы автоматически регулируют количество жидкости в тормозе. Все компенсаторы можно разделить на две группы — поршневые и беспоршневые, или, иначе говоря, пружинные и гидропневматические.

На рис. 107 представлена конструкция компенсатора с поршнем. Плавающий поршень *A* находится под действием пружины (такой компенсатор иначе называется пружинным компенсатором). Корпус компенсатора соединен жестко с цилиндром тормоза.

Избыток жидкости, образовавшийся от нагревания ее во время стрельбы, заставляет поршень *A* перемещаться влево, и жидкость из цилиндра тормоза переходит в резервуар компенсатора, вследствие чего происходит полный накат.

При охлаждении жидкости поршень перегоняет часть жидкости из компенсатора в цилиндр тормоза.

Компенсатор такого типа имеется у некоторых наших зенитных и наземных орудий (рис. 134).

Недостатком этого компенсатора является наличие плавающего поршня, который должен иметь особенно надежные сальниковые уплотнения. На рис. 108 показана схема беспоршневого компенсатора (иначе называемого гидропневматическим).

Резервуар этого компенсатора помещается сверху или снизу цилиндра тормоза или ввинчивается в цилиндр тормоза и сообщается с последним тонкой трубкой, по которой во время наката переходит избыток жидкости, выталкиваемой поршнем тормоза. При охлаждении жидкости в тормозе часть ее под действием давления воздуха переходит из компенсатора в цилиндр. Во время Отечественной войны компенсатор подобного типа широко применялся в нашей артиллерии (76-*мм* пушки обр. 1942 г., 85-*мм* танковые пушки).

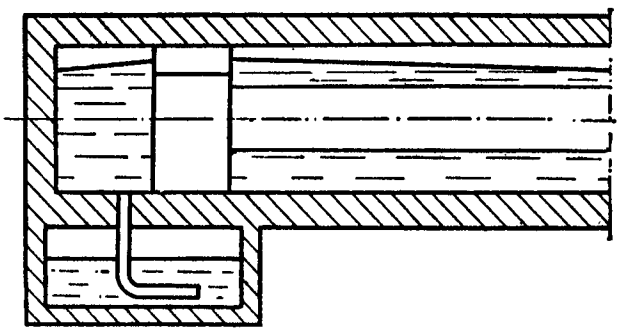


Рис. 108. Схема беспоршневого компенсатора жидкости в тормозе отката

Однако, несмотря на наличие компенсатора, орудийный расчет должен постоянно и очень внимательно наблюдать за работой тормозов (могут засориться отверстия, соединяющие компенсатор с цилиндром тормоза, может также произойти большая утечка жидкости через уплотнения).

Благодаря компенсаторам обеспечивается хорошая работа тормоза, не связанного с накатником в одно целое.

Для надежной и быстрой отдачи жидкости компенсаторами тормозам в процессе стрельбы необходимо иметь принудительную обратную подачу жидкости, что имеет место в пружинных компенсаторах и в компенсаторах с искусственно создаваемым повышенным давлением воздуха.

§ 4. ОЦЕНКА РАЗЛИЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРОТИВООТКАТНЫХ УСТРОЙСТВ

На основании опыта артиллерии Советской Армии можно сделать вывод, что наилучшими противооткатными устройствами являются те устройства, которые состоят из отдельного тормоза веретенного типа и отдельного гидропневматического накатника.

Расположение противооткатных устройств должно способствовать уменьшению плеча динамической пары, лучшему укрытию противооткатных устройств от поражения осколками и пулями с различных направлений, уменьшению габаритов системы в боевом положении, удобству сборки и разборки противооткатных устройств, затвора, казенника, ствола, удобству обслуживания и ремонта системы.

ГЛАВА VI

РАСЧЕТ НАКАТНИКОВ

§ 1. НАЧАЛЬНАЯ СИЛА НАКАТНИКА

Так как накатник предназначается для накатывания откатившихся частей орудия в исходное положение и для надежного удержания их в этом положении при всех углах возвышения, то необходимо, чтобы сила накатника $П$ удовлетворяла следующему неравенству:

$$П > Q_0 \sin \varphi + T + F + K'$$

или, так как

$$T = fQ_0 \cos \varphi,$$

$$П > Q_0 (\sin \varphi + f \cos \varphi) + F + K',$$

где f — коэффициент трения на направляющих люльки;
T — сопротивление трений на направляющих люльки;
F — сопротивление трений в уплотняющих устройствах тормоза и накатника;
K' — сопротивление дополнительных механизмов (полуавтоматика и т. д.) во время наката.

Сопротивление накатника возрастает по мере увеличения отката благодаря сжатию газа или пружин в накатнике и имеет наименьшее значение в начале отката.

Начальная сила накатника $П_0$ должна быть больше суммы сил: составляющей веса откатных частей в направлении, параллельном оси канала ствола ($Q_0 \sin \varphi$), всех сил трения между откатными и неоткатными частями ($fQ_0 \cos \varphi + F$), а также сопротивления дополнительных механизмов (K'), взводимых в конце наката. Сила $П_0$ должна быть больше суммы указанных сил при самых больших их значениях (при исправном орудии). Поэтому для определения величины начального значения силы накатника будем иметь такое условие:

$$П_0 \geqq Q_0 (\sin \varphi_{max} + f \cos \varphi_{max}) + F + K'.$$

Считая, что сила F сопротивления в сальниках и воротниках пропорциональна весу откатных частей, получим

$$F = \nu Q_0$$

и, следовательно,

$$П_0 \geqq Q_0 (\sin \varphi_{max} + f \cos \varphi_{max} + \nu) + K'.$$

На основании имеющегося опыта коэффициент трения на направляющих люльки f берется в пределах от 0,16 до 0,20, а ν — от 0,1 до 0,5. Ориентировочно можно принять $П_0 \geqq 1{,}5Q_0$ для наземной артиллерии и $П_0 \approx 2Q_0$ для зенитной артиллерии с учетом того, что почти все современные орудия имеют механизмы, взводимые накатником.

§ 2. РАСЧЕТ ПРУЖИННЫХ НАКАТНИКОВ

Закон изменения сопротивления пружинного накатника. Определение исходных величин для расчета накатника

В пружинных накатниках сила накатника изменяется на величину, пропорциональную пути X, проходимому откатывающимися частями орудия. Зависимость силы накатника от пути отката графически выражается прямой линией, как показано на рис. 109, где

$П_0$ — начальная сила накатника;
$П$ — сила накатника в момент, соответствующий пути отката X;
$П_\lambda$ — сила накатника в конце отката;
$S = f_0$ — стрела начального поджатия накатника;
λ — длина отката;
$S + X = f$ — текущее значение стрелы сжатия;
$П_{пр}$ — предельная сила накатника при сжатии витков вплотную;
L_0 — длина предварительно поджатой пружины;
$L_{своб}$ — длина пружины в свободном состоянии;
$L_{впл}$ — длина пружины при сжатых вплотную витках.

Из рис. 109 имеем

$$\frac{П}{П_0} = \frac{S + X}{S},$$

откуда для любого пути отката X имеем

$$П = П_0 \frac{S + X}{S}.$$

Для определения величины стрелы начального поджатия имеем такое соотношение:

$$\frac{П_\lambda}{П_0} = \frac{S + \lambda}{S}.$$

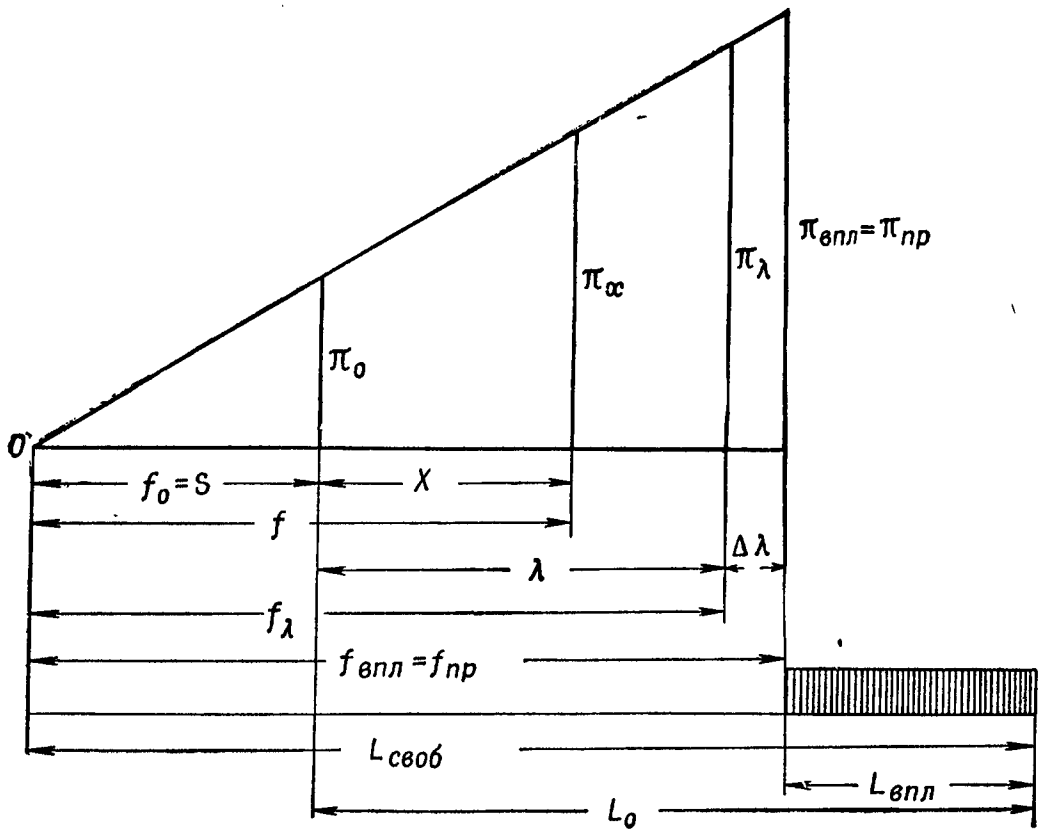


Рис. 109. Силовая диаграмма пружины

Обозначая отношение $\frac{П_\lambda}{П_0}$ в последнем равенстве через m и решая его относительно S, получим

$$S=\frac{\lambda}{m-1}.$$

Число m называется степенью сжатия накатника. Для пружинных накатников m следует брать равным 2, так как в этом случае при данном качестве материала и данном сечении витка пружины вес последней получается наименьшим.

Выбор пружин накатника и определение их конструктивных размеров

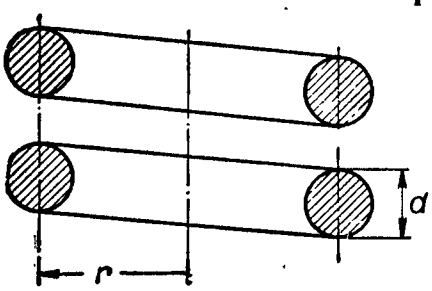


Рис. 110. Схема цилиндрической пружины круглого сечения

При одном и том же допустимом напряжении на кручение наибольшей потенциальной энергией на единицу веса обладают пружины с круглым сечением витка (рис. 110).

На втором месте в этом отношении стоят пружины с прямоугольным сечением витка, бо́льшая сторона которого перпендикулярна к оси пружины (рис. 111).

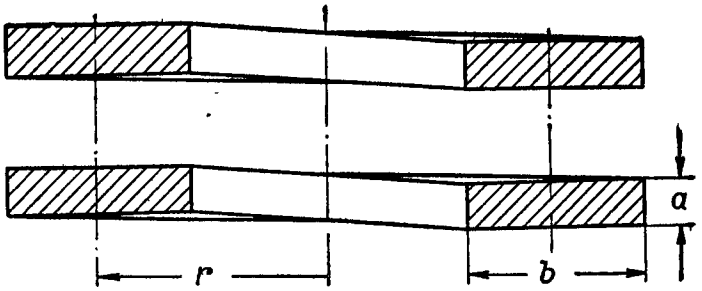


Рис. 111. Схема цилиндрической пружины прямоугольного сечения

Пружины этих двух видов обладают значительным преимуществом по сравнению с винтовыми пружинами других типов (квадратного сечения, эллиптического и т. д.) и поэтому применяются главным образом для накатников артиллерийских орудий.

Общие обозначения для расчета пружин

$П$ — сила пружины накатника в *кг*;

f — полная стрела сжатия пружины в *см*;

$f_{пр}$ — предельная стрела сжатия, допускаемая условиями прочности, в *см*;

a — малая сторона сечения витка прямоугольной пружины в *см*;

b — большая сторона сечения витка прямоугольной пружины в *см*;

$c = \frac{b}{a}$ — отношение сторон сечения витка пружины;

r — средний радиус пружины в *см*;

d — диаметр сечения витка круглой пружины в *см*;

n — число рабочих витков пружины;

τ — напряжение на кручение материала пружины, соответствующее данной силе $П$, в *кг/см²*;

$\tau_{доп}$ — допустимое напряжение материала пружины на кручение в *кг/см²*, соответствующее предельному значению силы $П_{пр}$;

G — модуль упругости на кручение материала пружины в *кг/см²*.

Для накатников можно принять:

$$\tau_{доп} = 10000 \text{ кг/см}^2; \quad G = 850000 \text{ кг/см}^2.$$

Расчетные формулы для пружин с круглым сечением витка

Зависимость между силой, размерами витка и напряжением металла для любого момента ($П$) и при сжатых вплотную витках ($П_{пр}$):

$$П = \frac{\pi d^3}{16r} \cdot \frac{\tau}{1 + \frac{d}{3r}};$$

$$П_{пр} = \frac{\pi d^3}{16r} \cdot \frac{\tau_{доп}}{1 + \frac{d}{3r}}.$$

Зависимость между стрелой сжатия, размерами и числом витков, силой, сжимающей пружину, и качеством металла:

$$f = \frac{64r^3n}{d^4} \cdot \frac{П}{G} = \frac{П}{K}.$$

Жесткость пружины K как отношение силы к стреле сжатия:

$$K = \frac{d^4G}{64r^3n}.$$

Для накатников величина $\frac{d}{3r}$ сравнительно мала, поэтому допускается диаметр проволоки пружины определять по приближенной формуле

$$d = \sqrt[3]{\frac{16rП_{пр}}{\pi\tau_{доп}}}$$

и полученный размер округлять в бóльшую сторону.

Общий вид расчетных формул для пружины прямоугольного сечения

Формулы для определения связи между силой и напряжением для данных размеров витка:

$$П = \frac{\xi a^2 b\tau}{r} \text{ или } П = \frac{\xi c a^3 \tau}{r};$$

$$П_{пр} = \frac{\xi a^2 b\tau_{доп}}{r} \text{ или } П_{пр} = \frac{\xi c a^3 \tau_{доп}}{r}.$$

Формулы для определения стрелы сжатия в зависимости от силы и размеров пружины:

$$f = \frac{2\pi r^3 n}{\eta a^3 b} \cdot \frac{П}{G} \text{ и } f_{пр} = \frac{2\pi r^3 n П_{пр}}{\eta a^3 b G}.$$

Значения коэффициентов формы пружины ξ и η в зависимости от отношения сторон прямоугольного сечения приводятся ниже в таблице.

$c = \frac{b}{a}$	1	1,5	1,75	2,0	2,5	3,0	4,0
η	0,140	0,196	0,214	0,229	0,249	0,263	0,281
ξ	0,208	0,231	0,239	0,246	0,258	0,267	0,282

Порядок расчета пружины накатника

1. Определить наибольшую стрелу сжатия (при $S = \lambda$):

$$f_{пр} = S + \lambda + \Delta\lambda = 2\lambda + \Delta\lambda.$$

$\Delta\lambda = 50—100$ *мм* — запас на откат сверх нормы.

2. Определить наибольшее расчетное усилие:

$$П_{пр} = П_0 \frac{f_{пр}}{S} = П_0 \frac{f_{пр}}{\lambda}.$$

3. Задаться конструктивно величинами:

r — средним радиусом сечения витка;

$c = \frac{b}{a}$ — отношением сторон сечения витка;

$\tau_{доп}$ — допускаемым напряжением на кручение.

4. Определить сторону a по формуле

$$a = \sqrt[3]{\frac{П_{пр} \cdot r}{\xi c \tau_{доп}}}.$$

5. Найти b по известным a и $\frac{b}{a}$.

6. Определить число витков пружины:

$$n = \frac{\eta a^3 b G f_{пр}}{2\pi r^3 П_{пр}}$$

и прибавить 1,5 витка на концы пружины.

Если пружина длинная, то необходимо решить вопрос о числе составляющих ее секций, чтобы число витков всех секций равнялось числу, определенному по последней формуле.

О подборе тарельчатых пружин

На тарельчатые пружины имеется стандарт ГОСТ 3057—45, в котором указаны вес и размеры стандартных пружин (наружный и внутренний диаметры и толщина тарели), стрела полного прогиба пружины и нагрузка, вызывающая этот прогиб. Допускаемые нагрузка и стрела прогиба берутся равными $^2/_3$ табличных значений.

Особенности работы и расчета телескопических пружинных накатников

При телескопическом расположении пружин получается небольшая длина накатника при длинном откате, так как сжатие двух рядов пружин во время отката дает в сумме длину отката.

Обычно стремятся подобрать пружины так, чтобы они сжимались одинаково под действием одной и той же силы $П_{пр}$ (чтобы $f_1 = f_2$), т. е. чтобы жесткость у них была одинаковой.

Рабочее сжатие каждой пружины будет равно половине длины отката, т. е. $\frac{\lambda}{2}$.

Дальнейший расчет производят для каждого ряда пружин так, как и для накатника, у которого начальная сила $П_0$ и конечная $П_к$ одинаковы.

Длина обоих рядов пружин в свободном и в предварительно поджатом состоянии, а также во время отката и наката одинакова.

Примеры по расчету пружинных накатников

Пример 1. Рассчитать пружину круглого сечения для зенитной пушки малого калибра при следующих данных: $Q_0 = 150$ *кг*; $\lambda = 300$ *мм*; средний радиус витка должен быть около $r = 7{,}5$ *см*.

Решение (при помощи логарифмической линейки или таблиц логарифмов).

1. Устанавливаем необходимую наибольшую стрелу сжатия пружины $f_{пр}$:

$$f_{пр} = 2\lambda + \Delta\lambda = 2 \cdot 300 + 50 = 650 \text{ мм}.$$

2. Определяем предварительное усилие накатника $П_0$:

$$П_0 = 2Q_0 = 2 \cdot 150 = 300 \text{ кг}.$$

3. Вычисляем наибольшую расчетную силу, сжимающую пружину $П_{пр}$:

$$П_{пр} = П_0 \frac{f_{пр}}{S} = П_0 \frac{f_{пр}}{\lambda} = 300 \frac{650}{300} = 650 \text{ кг}.$$

4. Находим необходимый диаметр проволоки пружины d:

$$d = \sqrt[3]{\frac{16rП_{пр}}{\pi\tau_{доп}}\left(1 + \frac{d}{3r}\right)}.$$

Так как для накатников величина $\frac{d}{3r}$ мала, то можно сначала найти d по приближенной формуле

$$d = \sqrt[3]{\frac{16rП_{пр}}{\pi\tau_{доп}}}$$

и полученный диаметр округлить в бóльшую сторону:

$$d = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 7{,}5 \cdot 650}{3{,}14 \cdot 10000}} = \sqrt[3]{2{,}48} = 1{,}35 \text{ см} \approx 15 \text{ мм}.$$

5. Определяем число рабочих витков n в пружине:

$$n = \frac{Gfd^4}{64r^3\Pi_{пр}} = \frac{850000 \cdot 65 \cdot 1{,}5^4}{64 \cdot 7{,}5^3 \cdot 650} = 16.$$

Пружина будет иметь $16 + 1{,}5 = 17{,}5$ витка при условии, что 1,5 витка идут на концы, не учитываемые в работе.

Полная длина проволоки $L_{пров} = 2\pi r\,(n + 1{,}5)$;

$$L_{пров} = 17{,}5 \cdot 2 \cdot 3{,}14 \cdot 7{,}5 = 827\ см = 8{,}27\ м.$$

6. Определяем длину пружины в свободном состоянии:

$$L_{пруж} = f_{пр} + (1{,}5 + n)\,d = 650 + 17{,}5 \cdot 15 = 650 + 263 = 913\ мм.$$

7. Находим число отдельных секций пружины. Сплошная пружина длиной 913 *мм* неудобна в производстве и в эксплуатации. Пружина должна состоять из двух секций; длина каждой секции равна:

$$L_{секции} = \frac{913}{2} = 457 \approx 460\ мм.$$

Пример 2. Расчет пружинного накатника.

Рассчитать для условий первого примера пружину накатника прямоугольного сечения с отношением сторон $c = \frac{b}{a} = 2$.

Решение.

1. Величины $f_{пр}$; Π_0; $\Pi_{пр}$; r берем такими, как и для первого примера.

2. Коэффициенты ξ и η по входной величине c находим по таблице: $\xi = 0{,}246$ и $\eta = 0{,}229$.

3. Определяем меньшую сторону a сечения витка пружины (a параллельна оси пружины):

$$a = \sqrt[3]{\frac{\Pi_{пр} \cdot r}{\xi \cdot c \cdot \tau_{доп}}} = \sqrt[3]{\frac{650 \cdot 7{,}5}{0{,}246 \cdot 2 \cdot 10\,000}} = \sqrt[3]{0{,}99} \approx 1\ см.$$

4. Определяем бо́льшую сторону b сечения витка:

$$b = ac = 1 \cdot 2 = 2\ см.$$

5. Определяем число рабочих витков пружины и полное их число:

$$n = \frac{f_{пр} \cdot \eta \cdot a^3 \cdot b \cdot G}{2\pi r^3 \Pi_{пр}} = \frac{65 \cdot 0{,}229 \cdot 1^3 \cdot 2 \cdot 850\,000}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 7{,}5^3 \cdot 650} = 14{,}8 \text{ витка.}$$

Берем $n = 15$ витков (рабочих). Всего витков в пружине:

$$15 + 1{,}5 = 16{,}5.$$

6. Определяем длину проволоки для пружины:

$$L_{\text{пров}} = (n + 1{,}5)\, 2\pi r = 16{,}5 \cdot 2 \cdot 3{,}14 \cdot 7{,}5 = 780 \text{ см} = 7{,}8 \text{ м}.$$

7. Определяем длину пружины в свободном состоянии:

$$L_{\text{пруж}} = f_{\text{пр}} + (n + 1{,}5)\, a = 650 + 16{,}5 \cdot 10 = 815 \text{ мм}.$$

8. Для удобства в производстве и в эксплуатации берем две секции пружин; длина каждой секции $L_{\text{секции}} = \frac{L_{\text{пруж}}}{2} = 408 \text{ мм} \approx 410 \text{ мм}$.

§ 3. РАСЧЕТ ГИДРОПНЕВМАТИЧЕСКИХ НАКАТНИКОВ

Примем следующие обозначения:

$A_{\text{н}}$ — рабочая площадь поршня накатника;

W_0 — начальный объем воздуха в цилиндрах (перед откатом);

p_0 — начальное давление в накатнике;

$П_0$ — начальная сила накатника (определение ее дано выше).

Между приведенными величинами существует зависимость:

$$П_0 = p_0 A_{\text{н}}.$$

Давление p_0 принимается от 25 до 50 $кг/см^2$, а в отдельных случаях может доходить до 120 $кг/см^2$. При этом учитывается наличие насосов. Большие давления принимают с целью уменьшения габаритов накатника в тяжелых орудиях (морские, зенитные, танковые).

Во время отката вследствие перемещения поршня на величину X часть жидкости из гидравлического цилиндра переместится в воздушный цилиндр и сожмет находящийся там воздух до некоторого объема, равного

$$W = W_0 - A_{\text{н}} X.$$

Обозначим через p давление в цилиндрах в любой момент движения откатных частей и будем считать, что происходящий процесс сжатия газа политропический. Тогда зависимость между давлениями и объемами определится выражением

$$p W^k = p_0 W_0^k,$$

где k — показатель политропического процесса, т. е. процесса изменения объема газа при наличии теплообмена между газом и стенками цилиндров.

Отсюда

$$p = p_0 \left(\frac{W_0}{W}\right)^k.$$

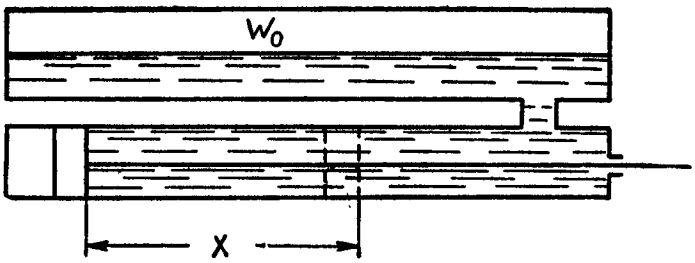


Рис. 112. Схема к расчету гидропневматического накатника

Величина k берется для воздуха и азота равной 1,3.

Объемы газа можно представить в виде цилиндров с поперечным сечением, равным рабочей площади поршня $A_н$ (рис. 112).

Длины приведенных цилиндрических объемов газа определяются выражениями

$$S=\frac{W_0}{A_н} \text{ и } S-X=\frac{W}{A_н}.$$

Объемы газа прямо пропорциональны длинам приведенных цилиндров

$$\frac{W_0}{W}=\frac{S}{S-X}.$$

Подставляя последнее выражение в уравнение связи между давлениями, получим

$$p=p_0\left(\frac{S}{S-X}\right)^k=p_0\left(\frac{1}{1-\frac{X}{S}}\right)^k.$$

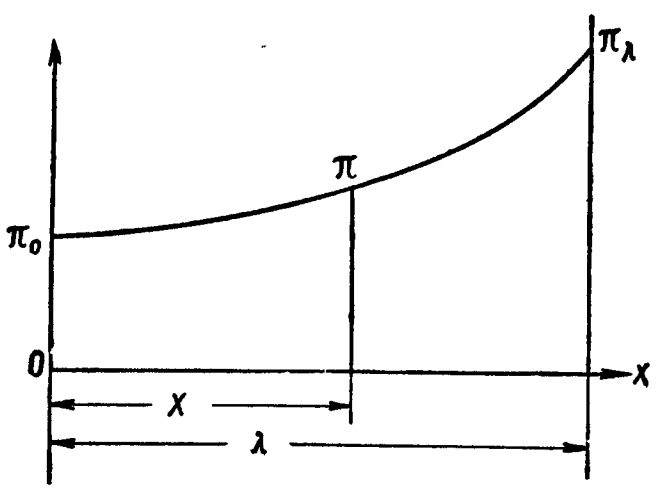


Рис. 113. Схема зависимости усилия пневматического (и гидропневматического) накатника от пути отката или наката

Умножая уравнение для p на величину рабочей площади поршня $A_н$, получим основное уравнение для определения силы накатника для любого пути отката:

$$П = П_0\left(\frac{S}{S-X}\right)^k = П_0\left(\frac{1}{1-\frac{X}{S}}\right)^k.$$

Графически этот закон представлен на рис. 113.

Величина S называется высотой начального объема воздуха W_0, приведенного к рабочей площади поршня накатника.

Определение приведенной высоты S и объема W_0

Для определения приведенной высоты S подставим в последнее уравнение вместо X и $П$ их значения для конца отката λ и $П_\lambda$. Тогда будем иметь

$$\frac{П_\lambda}{П_0} = \left(\frac{S}{S-\lambda}\right)^k.$$

Решая это уравнение относительно S и обозначая

$$\frac{П_\lambda}{П_0} = m,$$

получим

$$S = C\lambda,$$

где

$$C = \frac{1}{1-\frac{1}{m^{\frac{1}{k}}}}.$$

Отношение $\frac{П_\lambda}{П_0} = m$ называют в теории лафетов степенью сжатия накатника.

Найдя S, определим объем воздуха в резервуарах накатника по формуле

$$W_0 = A_н S.$$

На практике удобно выражать объемы в литрах, а площади в квадратных сантиметрах.

В этом случае последняя формула примет вид

$$W_0 = 0{,}1 A_н S \text{ литров},$$

при этом величина S выражена в метрах.

Влияние величины степени сжатия m на работу воздушного накатника

При выборе степени сжатия необходимо иметь в виду следующее:

1. Чем больше степень сжатия m, тем меньше начальный объем воздуха в накатнике, а следовательно, меньше и сам накатник.

2. Чем больше степень сжатия m, тем сильнее повышается температура воздуха в накатнике в конце отката вследствие его сжатия.

Действительно, для политропического изменения состояния газа между объемами и абсолютными температурами имеется зависимость (считая газ идеальным):

$$T_0 W_0^{k-1} = T W^{k-1}.$$

В частности, для $k = 1{,}3$ при начальной температуре $t = 15°$ С или 288° абсолютной температуры T_0, для различных значений степени сжатия m значение температур воздуха в накатнике в конце отката определяется по нижеприведенной таблице, данные которой вычислены по формуле

$$T_\lambda = T_0 \left(\frac{W_0}{W_\lambda}\right)^{k-1} = T_0 \left(\frac{p_\lambda}{p_0}\right)^{\frac{k-1}{k}} = T_0 m^{\frac{k-1}{k}}.$$

m	2	3	4	5	6	7	8
T_λ°	338	370	396	418	436	451	466
$t°$С	65	97	123	145	163	178	193
$\Delta t°$С	50	82	108	130	148	163	178

Рассматривая эту таблицу, мы видим, что при степени сжатия $m = 2$ температура накатника к концу отката повышается до 65° С, при $m = 4$ — до 123° С и при $m = 8$ — почти до 200° С.

3. Чем больше будет степень сжатия m, тем меньше будет S, тем быстрее будет возрастать сила накатника $П$ и тем больше будет аккумулируемая накатником энергия к концу отката, вследствие чего получится большая возможность наброса орудия и нарушения его устойчивости во время наката.

На основании изложенного выше можно прийти к выводу, что степень сжатия m для полевых орудий должна быть не выше 2—3. Кроме того, при выборе степени сжатия m необходимо иметь в виду, что сила накатника в конце отката должна удовлетворять такому условию:

$$П_\lambda < R_\lambda - T - F,$$

где R_λ — общее сопротивление откату в конце отката при $\varphi = 0$.

В имеющихся на вооружении полевых орудиях степень сжатия колеблется от 1,7 до 4,35 (а иногда $m < 1{,}5$).

Определение основных размеров цилиндра, поршня и штока накатника

1. Определение диаметра штока (сплошного). Нагрузка штока, если он откатывается, будет наибольшей в момент наибольшего давления газов во время выстрела.

Шток будет растягиваться силой $П$ и силой инерции штока $I_ш$, причем

$$I_ш = \frac{q_{ш,\,н}}{Q_0} P_{max} \cdot S;$$

$$P_{max} S = P_{кн,\,max}.$$

Расчетная равнодействующая сила, растягивающая шток, равна

$$R_ш = П + I_ш,$$

(если шток не откатывается, то сила $I_ш = 0$).

Возможно, что наибольшее значение $R_ш$ может быть в конце отката (если $I_ш = 0$).

Наименьший размер диаметра при трехкратном запасе прочности определится из уравнения

$$\sigma_z = \frac{4R_ш}{\pi d^2_{ш,\,н,\,min}} = \frac{\sigma_e}{3},$$

т. е.

$$d_{ш,\,н,\,min} = \sqrt{\frac{12R_ш}{\pi\sigma_e}}.$$

Минимальный диаметр относится к диаметру выточки в конце нарезки.

Диаметр штока в районе сальника может быть на 0,1÷ 0,2 больше $d_{ш,\,н,\,min}$:

$$d_{ш,\,н} = (1{,}1 \div 1{,}2)\, d_{ш,\,н,\,min}.$$

2. Внутренний диаметр гидравлического цилиндра накатника (он же является и наружным диаметром поршня) определяется по формуле

$$A_{н} = \frac{\pi}{4}(D^2_{н,\,вн} - d^2_{ш,\,н}),$$

откуда

$$D_{н,\,вн} = \sqrt{\frac{4A_{н}}{\pi} + d^2_{ш,\,н}}.$$

3. Наружный диаметр цилиндра накатника ($D_{н,\,нар}$) определяется по формулам расчета на внутреннее давление трубы-моноблока при запасе прочности не менее 2 ($\eta \geqslant 2$):

$$D_{н,\,нар} = D_{н,\,вн}\sqrt{\frac{3\sigma_e + 2\eta p_\lambda}{3\sigma_e - 4\eta p_\lambda}},$$

где η — коэффициент запаса прочности, равный 2—3;

$p_\lambda = \frac{П_\lambda}{A_{н}}$ — давление в накатнике в конце отката;

σ_e — предел упругости металла цилиндра.

Часть гидравлического цилиндра, не имеющую внутреннего давления за счет перемещения штока (или цилиндра), следует рассчитывать и на наружное давление, если гидравлический цилиндр находится внутри пневматического цилиндра, по формуле

$$D_{нар} = D_{вн}\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{2\eta p_\lambda}{\sigma_e}}}.$$

Определение напряжений в стенках цилиндров накатника

Чтобы судить о прочности стенок цилиндров, их необходимо проверять на осевое и на тангенциальное растяжение.

Для определения осевого напряжения без учета сил инерции служит формула

$$\sigma_z = \frac{p_\lambda F_{ц}}{\frac{\pi}{4}(D^2_{нар} - D^2_{вн})},$$

где p_λ — внутреннее давление в цилиндре в конце отката;

$F_{ц}$ — площадь дна цилиндра, на которую передается давление.

Запас прочности должен быть не менее 3:

$$\sigma_z < \frac{\sigma_e}{3}.$$

Формула для определения тангенциального растяжения цилиндра

$$E\varepsilon_{к,\,1} = \frac{2}{3} p_{\lambda} \frac{2D^2_{нар} + D^2_{вн}}{D^2_{нар} - D^2_{вн}}.$$

Для обеспечения прочности должно быть

$$E\varepsilon_{к,\,1} < \frac{\sigma_e}{2 \div 3}.$$

С учетом силы инерции (если цилиндр откатывается) осевое напряжение определяется по формуле

$$\sigma_z = \frac{p_{\lambda} F_{ц} + I_{ц}}{\frac{\pi}{4}\left(D^2_{нар} - D^2_{вн}\right)}.$$

Сила инерции части цилиндра, лежащей впереди расчетного сечения, определяется по формуле (при $P = P_{max}$)

$$I_{ц} \approx \frac{Q_{ц}}{Q_0} P_{max} S,$$

где $Q_{ц}$ — вес впереди лежащей части цилиндра.

Примеры по расчету цилиндра и штока накатника

Пример 1. Определить необходимый предел упругости металла штока накатника при следующих данных. Орудие — 152-*мм* пушка. Наибольшее давление газов в канале ствола 3000 *кг/см*^{2}. Предварительное давление в накатнике $p_0 = 60$ *кг/см*^{2}; степень сжатия $m = 3$. Вес откатных частей 5000 *кг*. Наименьший диаметр штока накатника 8 *см*. Вес штока с поршнем $Q_{ш,\,н} = 100$ *кг*. Рабочая площадь поршня $A_{н} = 160$ *см*^{2}.

Решение.

1. Определение начального и конечного усилия накатника ($П_0$ и $П_{\lambda}$):

$$П_0 = p_0 A_{н} = 60 \cdot 160 = 9600 \text{ кг};$$

$$П_{\lambda} = mП_0 = 3 \cdot 9600 = 28800 \text{ кг}.$$

2. Определение наибольшего значения силы инерции (для сечений в хвостовой части штока) в месте соединения с гайками:

$$I_{ш,\,max} = \frac{Q_{ш,\,н} P_{max} S}{Q_0} = \frac{100}{5000} \cdot 3000 \cdot 0{,}8 \cdot 15{,}2^2 = 11000 \text{ кг}.$$

$S = 0{,}8\,d^2$ — площадь поперечного сечения канала ствола в области полного профиля нарезов.

3. Определение расчетных сил, действующих на шток ($R_ш$):

а) в начале отката при наибольшем давлении газов в стволе:

$$R_{ш,0} = П_0 + I_{ш,\,max} = 9600 + 11000 = 20600\ кг;$$

б) в конце отката:

$$R_{ш,\lambda} = П_\lambda = 28800\ кг.$$

Итак, значение силы, растягивающей шток, будет наибольшим в конце отката, т. е. $R_{ш,\lambda} = 28800\ кг$.

4. Определение необходимого предела упругости металла (σ_e) для штока:

$$\sigma_e = \frac{3R_ш}{\frac{\pi d^2_{ш,\,min}}{4}} = \frac{3 \cdot 28800}{\frac{3{,}14 \cdot 8^2}{4}} = 1720\ кг/см^2.$$

Округляя полученный результат в бо́льшую сторону, примем конструкционную сталь с пределом упругости $\sigma_e = 2000\ кг/см^2$.

Пример 2. Определить внутренний и наружный диаметры цилиндра накатника для 152-*мм* пушки (см. условия первого примера) при следующих дополнительных данных: $d_{ш,н} = 9\ см$; предел упругости металла $\sigma_e = 3000\ кг/см^2$. Наружного давления жидкости в цилиндре накатника нет.

Решение.

1. Внутренний диаметр цилиндра

$$D_{н,\,вн} = \sqrt{\frac{4A_н}{\pi} + d^2_{ш,\,н}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 160}{3{,}14} + 9^2} \approx 17\ см = 170\ мм.$$

2. Наружный диаметр цилиндра (расчет по тангенциальному растяжению подобно расчету трубы-моноблока):

$$D_{н,\,нар} = D_{н,\,вн}\sqrt{\frac{3\sigma_e + 2\eta p_\lambda}{3\sigma_e - 4\eta p_\lambda}} = 17\sqrt{\frac{3 \cdot 3000 + 2 \cdot 3 \cdot 180}{3 \cdot 3000 - 4 \cdot 3 \cdot 180}} =$$

$$= 17\sqrt{\frac{10080}{6840}} = 20{,}5\ см = 205\ мм.$$

§ 4. ПОНЯТИЕ О РЕГУЛИРОВАНИИ СКОРОСТИ НАКАТА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УГЛА ВОЗВЫШЕНИЯ

Энергия, аккумулируемая накатником при откате, значительно больше энергии, необходимой для наката откатных частей орудия.

Количество излишней энергии, аккумулируемой в накатнике, зависит от угла возвышения: при больших углах излишек энергии меньше, при малых углах возвышения — больше. При большом излишке энергии наката получаются удары в конце наката, вследствие чего сбивается наводка и приходят в негодность детали.

Для обеспечения желаемых скоростей наката при любых углах возвышения необходимо, чтобы гидравлическое торможение наката менялось в зависимости от угла возвышения. Это относится к орудиям с большим сектором вертикального обстрела.

В некоторых орудиях (например, в зенитных орудиях) для дополнительного регулирования гидравлического сопротивления при накате ставятся клапаны или краны (или то и другое вместе) в гидравлическом цилиндре накатника.

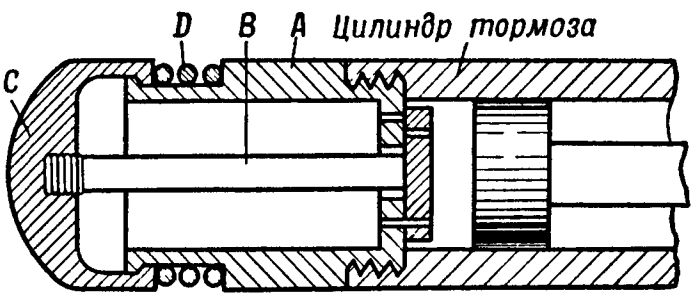


Рис. 114. Воздушный амортизатор наката (средство регулирования наката)

Для получения переменного гидравлического сопротивления при изменении углов возвышения краны открываются на разную величину.

Установку крана можно изменять вручную или при помощи специального рычага, связанного с кулисой (так же, как в гидравлическом тормозе отката).

Регулирование скорости наката в зависимости от угла возвышения можно производить путем изменения величины отверстия истечения жидкости в тормозе наката. Для исключения ударов в конце наката применяют буферы наката (каучуковые, пружинные, кожаные, гидравлические) и воздушные амортизаторы наката с клапаном.

В воздушном амортизаторе (рис. 114) стержень клапана *B* ввинчен в крышку *C*. Корпус амортизатора *A* ввинчен в цилиндр накатника. Пружина *D*, стремясь сбросить крышку *C* с корпуса, прижимает тарель клапана к дну корпуса. В дне корпуса и в тарели клапана имеются отверстия. В зависимости от поворота тарели относительно дна корпуса отверстие для прохода воздуха через дно корпуса увеличивается или уменьшается.

При откате образуется вакуум между дном корпуса *А* и поршнем накатника, в который устремляется атмосферный воздух, отталкивая тарель клапана в сторону вакуума.

В начале наката тарель клапана прижимается пружиной *Д* к дну корпуса. Поршень накатника, идя вперед, сжимает воздух, который оказывает сопротивление поршню и тем самым дополнительно тормозит накат.

Наименьшее торможение требуется при больших углах возвышения, а наибольшее при малых углах. Регулировку сопротивления амортизатора можно производить либо вручную, либо при помощи кулисы, для чего крышку *С* нужно вращать вместе со стержнем *В* и тарелью клапана.

ГЛАВА VII

РАСЧЕТ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ТОРМОЗОВ

§ 1. ГИДРАВЛИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ТОРМОЗА

(вывод основной формулы — формулы Дурляхова)

Рассмотрим простейшую схему тормоза с постоянным отверстием истечения жидкости (рис. 115). При этом примем обозначения:

$D_п$ — диаметр поршня тормоза;
$d_ш$ — диаметр штока тормоза;
V — скорость торможенного отката;
w — скорость струи жидкости;
a — площадь поперечного сечения отверстия (может быть одно или несколько отверстий) для прохода жидкости через поршень;
p — давление жидкости на поршень тормоза;
$A_т$ — рабочая площадь поршня тормоза:

$$A_т = \frac{\pi}{4}(D_п^2 - d_ш^2). \qquad (1т)$$

При откате (штока с поршнем или цилиндра тормоза) жидкость сжимается и выталкивается через узкое отверстие истечения с большой скоростью w. На создание живой силы

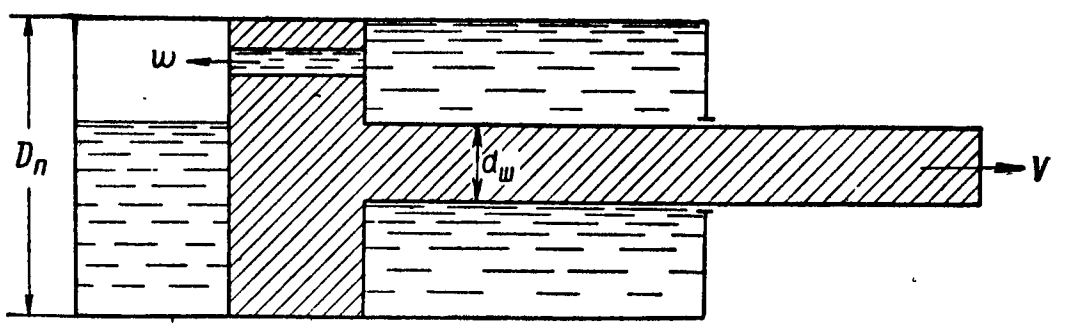


Рис. 115. Схема гидравлического тормоза с постоянным отверстием истечения

струи выталкиваемой жидкости расходуется основная часть работы тормоза. Кроме того, возникают большие силы трения между поверхностями деталей тормоза и движущейся жидкостью, а также между слоями жидкости, движущимися с различными скоростями.

Сила гидравлического сопротивления тормоза в любой момент отката определяется выражением

$$\Phi = pA_т. \qquad (2т)$$

Работа силы гидравлического сопротивления тормоза Φ за промежуток времени Δt равна $\Phi V \Delta t$, где $V\Delta t$ — путь отката за промежуток времени Δt.

Введем обозначения для отдельных частей работы силы гидравлического сопротивления за время Δt.

Основную работу сопротивления, т. е. работу по созданию живой силы струи, обозначим через A_0.

$$A_0 = \frac{\gamma a w \Delta t}{2g} \cdot w^2, \qquad (3т)$$

где γ — удельный вес жидкости;

$aw\Delta t$ — объем жидкости, выталкиваемой через сечение a за время Δt со скоростью w.

Работу трения жидкости о поверхности (стенки) деталей тормоза обозначим через $A_{ст}$ и работу трения между слоями жидкости — через $A_ж$.

Будем считать работы трения $A_{ст}$ и $A_ж$ прямо пропорциональными основной работе торможения A_0.

Выразим работы трения через основную работу по созданию живой силы струи (аналогично тому, как это делалось при выводе коэффициента фиктивности массы снаряда при решении основной задачи внутренней баллистики):

$$A_{ст} = k_1 A_0, \qquad (4т)$$

$$A_ж = k_2 A_0, \qquad (5т)$$

где k_1 и k_2 — коэффициенты пропорциональности между работами трений и основной работой тормоза.

Суммируя все работы гидравлического сопротивления, получим (за время Δt)

$$\Phi V \Delta t = A_0 + k_1 A_0 + k_2 A_0 = (1 + k_1 + k_2) A_0. \qquad (6т)$$

Обозначим

$$1 + k_1 + k_2 = k. \qquad (7т)$$

Величина k тем больше, чем больше отношение $\frac{A_т}{a}$ и чем больше скорость струй, так как в этом случае силы трения будут возрастать. Число k называется **коэффициентом сопротивления жидкости**.

Решая уравнения (3т), (6т) и (7т), получим

$$\Phi V \Delta t = kA_0 = \frac{k\gamma w^3 a}{2g} \Delta t. \qquad (8т)$$

Сокращая на Δt обе части равенства и перенося V вправо, получим

$$\Phi = \frac{k\gamma w^3 a}{2gV}. \qquad (9т)$$

Объемы жидкости, вытекшей из правой части ($A_т V$) и вошедшей в левую часть тормоза (aw), равны между собой:

$$A_т V = aw. \qquad (10т)$$

Подставив в уравнение (9т) вместо w его выражение из (10т), получим исходную формулу для расчета гидравлических тормозов (размерность входящих в формулу величин — *кг*, *м*, сек.):

$$\Phi = \frac{k\gamma A_т^3}{2ga^2} V^2. \qquad (11т)$$

Первым в мире вывел основную формулу для расчета гидравлических тормозов русский артиллерист генерал Дурляхов. Эту формулу называют формулой Дурляхова, а величину k — коэффициентом Дурляхова.

Решая формулу Дурляхова относительно давления в тормозе, получим

$$p = \frac{\Phi}{A_т} = \frac{k\gamma A_т^2}{2ga^2} V^2 \qquad (12т)$$

или

$$p = \frac{k\gamma w^2}{2g}. \qquad (13т)$$

Эти формулы верны для размерностей

$$\Phi\ (кг);\ A\ (м^2);\ g\ (м/сек^2);$$
$$a\ (м^2);\ V\ (м/сек);\ \gamma\ (кг/м^3).$$

На практике принято выражать

$$A_т \text{ и } a\ (см^2);\ \gamma\left(\frac{кг}{дм^3}\right);\ V\left(\frac{м}{сек}\right);\ \Phi\ (кг).$$

Для этого случая формула Дурляхова примет вид

$$\Phi = \frac{k\gamma A_т^3}{20ga^2} V^2, \qquad (14т)$$

Это и есть основная формула для расчета гидравлических тормозов невертенного типа. Для каждого конкретного случая будут свои значения $A_т$, a, k. По формуле (14т) можно вычислить силу гидравлического сопротивления тормоза без учета трений в уплотняющих устройствах.

Значения удельного веса γ для различных тормозных жидкостей при нормальной температуре (+15° С): стеол — 1,16—1,17 *кг/дм*^{3}; стеол М — 1,09—1,11 *кг/дм*^{3}; веретенное масло АУ — 0,89 *кг/дм*^{3}.

Чтобы более наглядно показать влияние различных элементов на величину гидравлического сопротивления тормоза, напишем основную формулу в следующем виде:

$$\Phi = \frac{k\gamma}{20g} \cdot \left(\frac{A_т}{a}\right)^2 A_т V^2.$$

Теперь очевидно, что сила гидравлического сопротивления прямо пропорциональна рабочей площади тормоза ($A_т$), удельному весу жидкости (γ), коэффициенту сопротивления жидкости (k), квадрату скорости отката (V) и квадрату отношения $\frac{A_т}{a}$. Следовательно, наибольшее влияние на величину силы Φ оказывает скорость отката (V) и отношение $\left(\frac{A_т}{a}\right)$. Величина коэффициента сопротивления (k) жидкости, как уже указывалось, также увеличивается с ростом отношения $\left(\frac{A_т}{a}\right)$. При расчетах тормозов исходят из предположения, что жидкость и во время морозов находится в незагустевшем виде. При загустевании жидкости ее сопротивление резко возрастает; этому явлению соответствует резкое возрастание величины k.

При нормальных условиях величина k колеблется от 1,2 до 2,5. В расчетах обычно принимают среднее значение k равным 1,5—1,7 для всей длины отката.

§ 2. РАСЧЕТ ОТВЕРСТИЯ ИСТЕЧЕНИЯ ЖИДКОСТИ ДЛЯ ТОРМОЗОВ ОТКАТА ПРОСТЕЙШЕГО ТИПА

Рассмотрим случай, когда величина отверстия истечения a переменная.

Основная формула (14т)

$$\Phi = \frac{k\gamma A_т^3}{20ga^2} V^2$$

показывает, что при любом значении скорости отката V можно получить необходимое значение силы Φ путем подбора соответствующего отверстия истечения a. Поэтому тормоза большинства орудий имеют переменное отверстие истечения.

Разберем случай, когда при откате внутри штока нет давления, частично уравновешивающего давление жидкости на поршень (у большинства тормозов веретенного типа внутри штока при откате имеется давление).

Решая уравнение (14т) относительно a, получим формулу для расчета отверстия истечения

$$a = \sqrt{\frac{k\gamma A_т^3}{2g\Phi} V^2}. \qquad (15т)$$

По формуле (15т) можно определить величину отверстия истечения a для любого момента отката.

Примечание. Величина коэффициента сопротивления истечению k меняется по мере отката, но ввиду трудности учета ее истинного значения в данный момент отката расчет ведут при постоянном значении k. Точные расчеты ведут с учетом переменной величины k.

Полученной формулой пользуются при расчете тормозов отката:

— шпоночного типа (рис. 103);
— канавочного типа (рис. 104);
— золотникового типа (рис. 105);
— клапанного типа с переменным ходом клапана во время отката (рис. 106).

В тормозах всех типов под величиной a понимается сумма площадей поперечного сечения отверстий истечения жидкости из запоршневой области цилиндра тормоза в передпоршневую.

§ 3. ГИДРАВЛИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ТОРМОЗА ОТКАТА ВЕРЕТЕННОГО ТИПА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТВЕРСТИЯ ИСТЕЧЕНИЯ ДЛЯ ОСНОВНОГО ПОТОКА ЖИДКОСТИ

У тормозов веретенного типа жидкость из запоршневой части цилиндра перетекает в передпоршневую часть цилиндра со скоростью w_2 и в полость штока, освобождающуюся по мере выхода веретена, со скоростью w_3 (рис. 116).

Первый поток жидкости, основной по объему, определяет гидравлическое давление и сопротивление тормоза. Этот поток проходит через зазор между регулирующим кольцом, ввинченным в поршень, и веретеном. Второй поток жидкости (идущий в полость штока) проходит через зазор между модера-

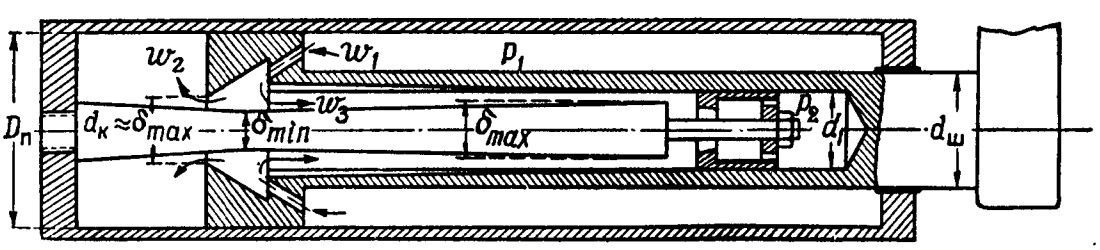


Рис. 116. Схема к расчету гидравлического тормоза веретенного типа: w_1 — скорость струй жидкости, входящих внутрь поршня ($w_1 \ll w_2$)

тором и канавками на внутренней поверхности штока, а также через отверстия в самом модераторе. Второй поток идет под большим напором и давит на дно полости штока. Площадь дна полости штока обозначается через $\mathfrak{A}$:

$$\mathfrak{A} = \frac{\pi d_1^2}{4}.$$

Сила действия на дно полости штока направлена против основного действия тормоза.

Для заполнения полости штока жидкостью делается значительный зазор между штоком и веретеном. Большой зазор обеспечивает непрерывное заполнение полости штока и сравнительно малое сопротивление движению второго потока жидкости.

Поэтому мы можем допустить, что давление жидкости во всей полости штока равно давлению перед поршнем (по принципу передачи давления в закрытых сообщающихся сосудах).

Обозначим через p давление на поршень и на дно полости штока, через $A_т$ — рабочую площадь поршня и через $A_к$ — площадь отверстия в регулирующем кольце

$$A_к = \frac{\pi d_к^2}{4}.$$

Давление на регулирующее кольцо частично уравновешивает давление на дно полости штока.

Сила гидравлического сопротивления тормоза веретенного типа в любой момент отката определится выражением

$$\Phi = p(A_т - A_к). \qquad (16т)$$

Величина $A_к$ менее $\mathfrak{A}$.

Обычно различают давление на поршень (p_1) и давление на дно штока (p_2). Поэтому сила гидравлического сопротивления тормоза веретенного типа иногда записывается в следующем виде:

$$\Phi = p_1 A_т - p_2 \mathfrak{A}. \qquad (17т)$$

Мы принимаем

$$p_1 \approx p_2 = p \qquad (18т)$$

и учитываем, что $A_к \neq \mathfrak{A}$.

Для вывода основных формул расчета тормозов веретенного типа допускаем, что все работы, совершаемые силой гидравлического сопротивления, прямо пропорциональны работе по сообщению живой силы потоку жидкости, перетекающему в передпоршневое пространство цилиндра тормоза.

Все остальные работы (трения жидкости о стенки тормоза, трения между частицами жидкости и сообщение живой силы потоку жидкости, идущей в замодераторное пространство) будем учитывать путем введения коэффициента сопротивления жидкости так же, как это делалось выше.

Такой метод позволяет использовать основную формулу для расчета тормозов (9т):

$$\Phi = \frac{k\gamma w^3 a}{2gV},$$

где под w следует понимать скорость струи жидкости, идущей в передпоршневое пространство (w_2 на рис. 116).

Чтобы выразить w через V и размеры тормоза, используем уравнение сплошности массы жидкости, перетекающей из запоршневой части цилиндра:

$$A_т V = aw + A_в V, \qquad (19т)$$

где $A_т V$ — объем жидкости, вытекшей из запоршневого пространства в единицу времени;

a — площадь зазора между регулирующим кольцом и веретеном;

aw — объем жидкости, перетекшей в передпоршневое пространство в единицу времени;

$A_в V$ — объем жидкости, перетекшей из запоршневого пространства в замодераторное пространство в единицу времени;

$A_в$ — площадь поперечного сечения веретена: $A_в = A_к - a$.

Из уравнения сплошности жидкости получим

$$w = \frac{A_т - A_в}{a} V. \qquad (20т)$$

Подставляя последнее выражение в формулу для Φ, получим

$$\Phi = \frac{k\gamma (A_т - A_в)^3}{2ga^2} V^2 \qquad (21т)$$

при размерности *кг*, *м*, сек.

Давление внутри цилиндра (в части, из которой вытекает жидкость) определяется выражением

$$p = \frac{\Phi}{A_т - A_к} = \frac{k\gamma (A_т - A_в)^3}{2ga^2 (A_т - A_к)} V^2. \qquad (22т)$$

Если принять $A_в \approx A_к$, то

$$p = \frac{k\gamma (A_т - A_в)^2}{2ga^2} V^2, \qquad (23т)$$

При переходе к специальным размерностям

$$A_т\,(см^2);\ A_в\,(см^2);\ a\,(см^2);\ g\left(\frac{м}{сек^2}\right);\ V\left(\frac{м}{сек}\right);\ \gamma\left(\frac{кг}{дм^3}\right)$$

получим основные рабочие формулы для расчета тормозов веретенного типа:

1. Для определения силы гидравлического сопротивления

$$\Phi = \frac{k\gamma\,(A_т - A_в)^3}{20ga^2}\,V^2. \qquad (24т)$$

2. Для определения давления в цилиндре

$$p = \frac{k\gamma\,(A_т - A_в)^3}{20ga^2\,(A_т - A_к)}\,V^2. \qquad (25т)$$

3. Для расчета отверстия в поршне для хода жидкости в передпоршневую часть цилиндра

$$a = (A_т - A_в)\,V\sqrt{\frac{k\gamma\,(A_т - A_в)}{20g\Phi}}, \qquad (26т)$$

где среднее значение коэффициента $k = 1{,}6$ (для предварительных расчетов).

Так как $A_в = A_к - a$, то при отыскании текущего значения величины a значение $A_в$ является также неизвестным. Поэтому отыскание величины a нужно вести путем решения кубического уравнения.

Для упрощения решения можно принять $A_в \approx A_к$, тогда уравнение (26т) для решения задачи примет вид

$$a = (A_т - A_к)\,V\sqrt{\frac{k\gamma\,(A_т - A_к)}{20g\Phi}} = C_2\sqrt{\frac{V^2}{\Phi}}, \qquad (27т)$$

где

$$C_2 = \sqrt{\frac{k\gamma\,(A_т - A_к)^3}{20g}} \qquad (28т)$$

и

$$\Phi = p\,(A_т - A_к).$$

Величина a для веретена переменного диаметра без канавок обозначает кольцевую площадь зазора между регулирующим кольцом и веретеном.

Для веретена постоянного диаметра с канавками величина a обозначает площадь сечения всех канавок, через которые истекает жидкость, в районе регулирующего кольца.

§ 4. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ РАСЧЕТА РАЗМЕРОВ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ТОРМОЗОВ

Задаваясь законом изменения силы сопротивления откату R в зависимости от пути отката (см. главу «Торможенный откат»), построим диаграмму R и ее составляющих, при этом величину K в приближенном расчете примем равной нулю:

$$R = \Phi + П + T + F - Q_0 \sin \varphi,$$

где T, F, $Q_0 \sin \varphi$ величины постоянные.

Определяем силу $П_0$ и, задаваясь степенью сжатия m, находим $П_\lambda$ и строим кривую $П$, как функцию пути отката (рис. 117).

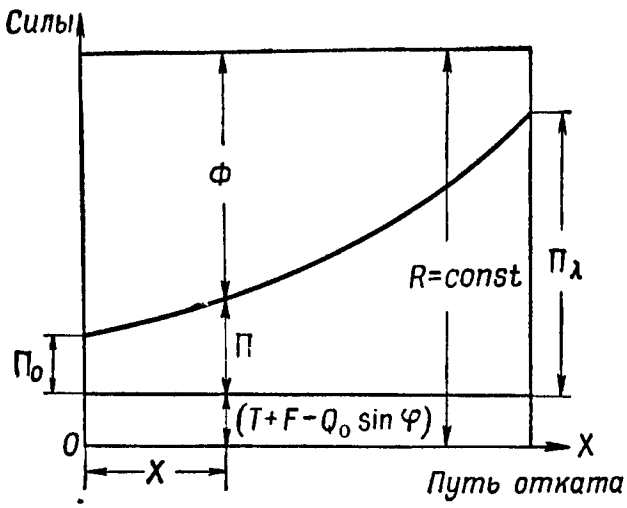


Рис. 117. Диаграмма сил, составляющих сопротивление откату R. Случай $R = \text{const}$

Таким образом, зная R, определяем силу Φ для любого момента отката:

$$\Phi = R - П - T - F + Q_0 \sin \varphi.$$

Далее, задаваясь наибольшим давлением в цилиндре тормоза, находим рабочую поверхность поршня тормоза:

$$A_т = \frac{\Phi_{max}}{p_{max}}.$$

Это выражение является точным для тормозов невeретенного типа и приближенным для веретенного (грубое приближение).

Задаваясь отношением $\frac{D_п}{d_{ш.т}} = 1{,}5 \div 2$, где $D_п$ — диаметр

поршня тормоза и $d_{ш.т}$ — диаметр штока тормоза, находим $D_п$:

$$D_п = \sqrt{\frac{4A_т}{\pi\left(1-\frac{1}{u^2}\right)}},$$

где

$$u = \frac{D_п}{d_{ш.т}}.$$

Толщину стенок цилиндра рассчитаем по формуле для трубы-моноблока, беря тройной запас прочности (см. расчет цилиндра накатника).

Расчет толщины стенок штока производят на наибольшую нагрузку от сил Φ_{max}, $F_т$, $I_{ш.т}$ (гидравлическое сопротивление, силы трения, сила инерции штока).

Напряжение осевого растяжения должно быть не более 1000 *кг/см²* для штоков с канавками и не более 1500 *кг/см²* для штоков без канавок. Исходя из этих соображений, найдем внутренний диаметр штока d_1 (см. рис. 116). Для обеспечения хороших условий заполнения замодераторного пространства штока при откате внутренний диаметр $d_к$ регулирующего кольца должен быть равен 0,8—0,9 d_1.

Для определения текущих значений площади сечений отверстий истечения a вычислим значения V для ряда точек отката и построим диаграмму скорости торможенного отката; затем, зная величины Φ, V, $A_т$, $A_к \approx A_в$, γ и k, по основным формулам (для a) найдем величину a.

Для тормозов неверетенного типа

$$a = A_т V \sqrt{\frac{k\gamma A_т}{20g\Phi}}$$

или

$$a = C_1 \sqrt{\frac{V^2}{\Phi}},$$

где $C_1 = \sqrt{\frac{k\gamma A_т^3}{20g}}$ — постоянная величина.

Для тормозов веретенного типа

$$a = C_2 \sqrt{\frac{V^2}{\Phi}},$$

где $C_2 = \sqrt{\frac{k\gamma\,(A_т - A_к)^3}{20g}}$ — постоянная величина.

Значения a определим через 50—100 *мм* отката. Затем построим кривую значений a и, исходя из удобства производства профиля регулирующей детали (веретено, канавки, шпонки, клапан и т. д.), сгладим ее.

Величины канавок на внутренней поверхности штока вычислим, исходя из соображения плавного торможения откатных частей при накате (см. главу «Накат»).

Наибольший диаметр веретена δ_{max} возьмем равным внутреннему диаметру регулирующего кольца. Допуск на обработку должен обеспечить гарантированный зазор (ходовая посадка 3—4 класса точности):

$$\delta_{max} \approx d_к.$$

Текущее значение диаметра веретена (круглого без канавок) определим по формуле для кольца:

$$\delta = \sqrt{d_к^2 - \frac{4a}{\pi}}.$$

§ 5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОФИЛЯ КАНАВОК НА ВЕРЕТЕНЕ ПОСТОЯННОГО ДИАМЕТРА

Тип тормоза с веретеном постоянного диаметра применяется, как мы видели выше, для орудий с переменной длиной отката. В этом случае на веретене делаются две или четыре канавки переменной глубины и разной длины. Сначала рассчитываются канавки короткого отката, а затем уже длинного отката. Метод расчета один и тот же. При расчете канавок длинного отката все сечение истечения $a_{дл}$ принимают состоящим из двух частей — сечения коротких канавок $a_{кор}$ и сечения длинных канавок Δa:

$$a_{дл} = a_{кор} + \Delta a.$$

Расчет веретена с канавками, включая нахождение $a_{кор}$ и $a_{дл}$, совершенно одинаков (все формулы общие) с расчетом веретена переменного диаметра. Для определения размеров канавок задаются, кроме числа их, шириной и определяют их глубину (рис. 118).

Площадь поперечного сечения каждой канавки для удобства расчета можно представить состоящей из двух элементов — сегмента с основанием, равным ширине канавки S, и прямоугольника со сторонами, равными ширине и глубине канавки. Задавшись шириной канавки S (она же основание сегмента), можно определить площадь сегмента $F_{сег}$ и высоту его h по формулам геометрии (при известном диаметре).

Глубина канавки b определится как сторона прямоугольника по известной площади $(a_{канавки} - F_{сег})$ и второй стороне S:

$$b = \frac{a_{канавки} - F_{сег}}{S}.$$

На последнем участке отката площадь $a_{канавки}$ будет менее $F_{сег}$. На этом участке будет лыска, высота которой определится как высота сегмента $F_{лыск}$ по его площади при постоянном диаметре веретена. Ширина лыски менее ширины канавки и постепенно сходит на нет.

Канавки на внутренней поверхности штока рассчитываются после расчета наката и определения значения $\Phi'_н$ — силы тормоза наката при накате и u — скорости наката для всех контрольных сечений штока (см. ниже).

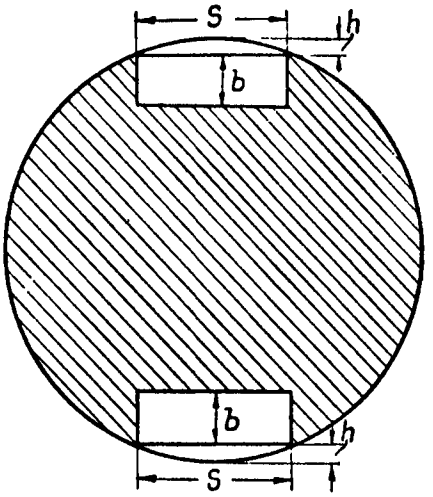


Рис. 118. Схема к определению профиля канавок веретена

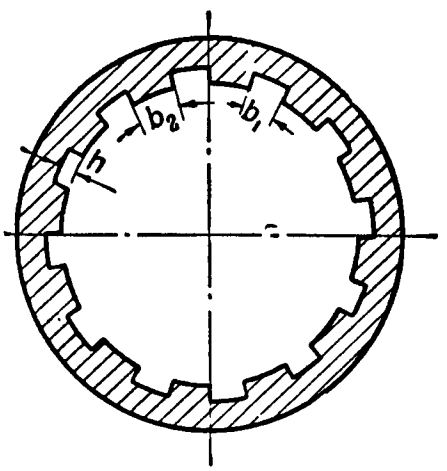


Рис. 119. Схема поперечного сечения цилиндра тормоза с канавками

§ 6. ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ОТВЕРСТИЙ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ТОРМОЗОВ ПРОСТЕЙШЕГО ТИПА (КАНАВОЧНОГО, ШПОНОЧНОГО И ЗОЛОТНИКОВОГО)

Общий расчет всего отката и размеров $D_п$, $d_ш$ и d_1 и величины a указан в § 4.

Рассмотрим дальнейший ход решения для различных типов тормозов.

а) Тормозы с канавками переменной глубины на внутренней поверхности цилиндра тормоза

На рис. 119 показано сечение такого тормоза. Все канавки делают одинаковых размеров.

Обозначим через:

b_1 — ширину канавок (обычно шириной задаются);

b_2 — ширину полей между канавками;

h — переменную глубину канавок;

m — число канавок на поверхности цилиндра;

n — число тормозов отката; обычно $n = 1$, но у тяжелых систем может быть $n = 2$.

Основные геометрические зависимости:

$$mb_1h = \frac{a}{n} \text{ и } m(b_1 + b_2) = \pi D_п.$$

Сначала определим глубину канавок для $a = a_{max}$. Исходя из формулы

$$mb_1h_{max} = \frac{a_{max}}{n},$$

найдем наибольшую глубину канавок:

$$h_{max} = \frac{a_{max}}{n \cdot m \cdot b_1}.$$

Зная величину a, найдем глубину канавки h для любого поперечного сечения цилиндра тормоза:

$$h = \frac{a}{n \cdot m \cdot b_1} = \frac{h_{max}}{a_{max}} \cdot a.$$

б) Тормозы со шпонками (планками) переменной высоты

Схема устройства отверстий истечения жидкости через поршень такого тормоза показана на рис. 120 и 121.

Обозначим через:

m — число шпонок;

b — ширину шпонки;

h — переменную высоту струи жидкости (наименьшую для данного положения поршня);

h_{max} — наибольшее значение h за все время отката;

h' — расчетную переменную высоту шпонки (высота части шпонки, выступающей из стенки цилиндра).

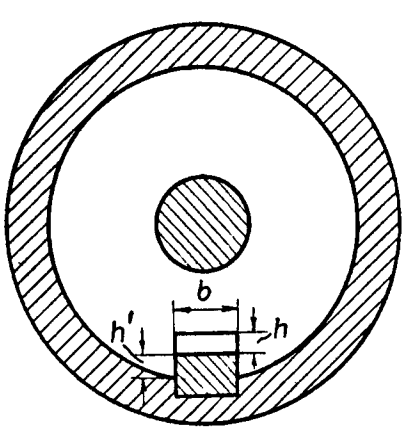


Рис. 120. Схема поперечного сечения гидравлического тормоза с регулирующими шпонками

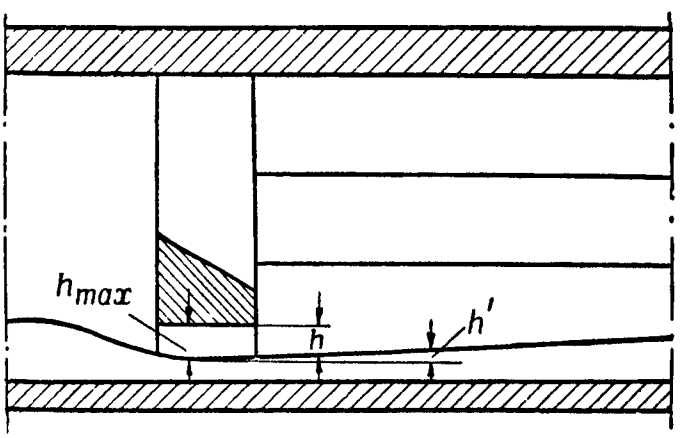


Рис. 121. Схема продольного сечения тормоза с регулирующими шпонками

Тогда для n тормозов будем иметь:

$$a = bh \cdot m \cdot n;$$

$$a_{max} = b \cdot h_{max} \cdot m \cdot n.$$

Решая эти равенства относительно h и h_{max}, получим

$$h_{max} = \frac{a_{max}}{n \cdot m \cdot b};$$

$$h = \frac{h_{max}}{a_{max}} \cdot a.$$

Так как $h' = h_{max} - h$, то для расчета переменной высоты шпонки будем иметь:

$$h' = h_{max}\left(1 - \frac{a}{a_{max}}\right).$$

в) Тормозы золотникового (дискового) типа (рис. 105)

Когда подсчитаны площади отверстий истечения жидкости для различных моментов отката, то контур кривой, ограничивающей эти отверстия в золотнике, может быть получен путем графического построения.

Рассмотрим случай, когда торможение отката начинается с момента достижения откатными частями наибольшей скорости и когда, следовательно, площадь отверстий истечения в начале торможения будет наибольшей.

Составим прежде всего таблицу разностей площадей отверстий для ряда последовательных моментов отката.

Путь отката X	$X_к$	X_1	X_2	. . .	X_l	. . .	X_{n-1}	$X_n = \lambda$
Величина отверстия a	a_{max}	a_1	a_2	. . .	a_l	. . .	a_{n-1}	$a_n = 0$
Разность отверстий $\Delta_l a = a_l - a_{l-1}$	0	$\Delta_1 a$	$\Delta_2 a$	. . .	Δ_{la}	. . .	$\Delta_{n-1}{}^a$	$\Delta_n{}^a$

Разности $\Delta_l a$ представляют собой величины перекрытий отверстий истечения жидкости при переходе откатных частей из одного положения в другое. Сумма же их дает полную площадь наибольшего отверстия истечения.

Действительно, имеем

$$\sum \Delta_i a = (a_{max} - a_1) + (a_1 - a_2) + (a_2 - a_3) + \ldots +$$

$$+ (a_i - a_{i+1}) + \ldots + (a_{n-2} - a_{n-1}) + (a_{n-1} - a_n).$$

Раскрывая скобки ($a_n = 0$), получим

$$\sum \Delta_i a = a_{max}.$$

Отсюда можно сделать вывод, что для правильной работы тормоза необходимо, чтобы площадь наибольшего отверстия a_{max} при прохождении откатными частями точек пути X_1, $X_2, \ldots, X_i \ldots$ и т. д. перекрывалась последовательно на величину $\Delta_1 a$, $\Delta_2 a$, $\Delta_3 a, \ldots, \Delta_i a \ldots$ и т. д.

Этого можно достигнуть, сделав в золотнике тормоза соответствующей формы отверстие, которое во время отката постепенно перекрывалось бы вращающимся поршнем. Допустим, что для полного перекрытия отверстия к концу отката поршень должен повернуться на угол α. Если вращение поршня происходит равномерно, то при переходе откатных частей из одной точки пути в другую поршень будет поворачиваться на угол, равный

$$\Delta\alpha = \frac{\alpha}{\lambda - X_к} \Delta X,$$

где ΔX — промежуток между двумя соседними точками отката;

λ — длина отката.

На пути отката от 0 до $X_к$ отверстие истечения не перекрывается и равно a_{max}.

Возьмем на окружности золотника (диска) дугу LM, отвечающую углу α, и соединим ее концы с центром окружности O. Полученный сектор LOM (рис. 122, *а*) разделим на части, соответствующие долям $\Delta_i \alpha$ угла.

Выделим площадку $lmnM$ (рис. 122, *б*), равную перекрытию отверстия в период отката от X_k до X_1. Тогда, принимая обозначения, сделанные на рисунке, получим выражение для площади $\Delta_1 a$:

$$\Delta_1 a = \frac{\Delta_1 \alpha}{360} \pi (R^2 - r^2),$$

где $\Delta_1 \alpha$ выражено в градусах.

Решая написанное равенство относительно r, будем иметь:

$$r = \sqrt{R^2 - \frac{360 \cdot \Delta_1 a}{\pi \Delta_1 \alpha}}.$$

Подставляя в последнюю формулу значения $\Delta_i a$ и $\Delta_i \alpha$, найдем для каждого деления сектора радиус r_i дуги, образующей нижний контур соответствующей площадки. Радиус r для последней площадки равен ON. Затем, прочерчивая найденные дуги и сглаживая полученную ломаную линию NM, как показано пунктиром на рис. 122, *в*, окончательно получим искомую кривую NM, ограничивающую отверстие золотника, изображенную на рис. 122, *г*.

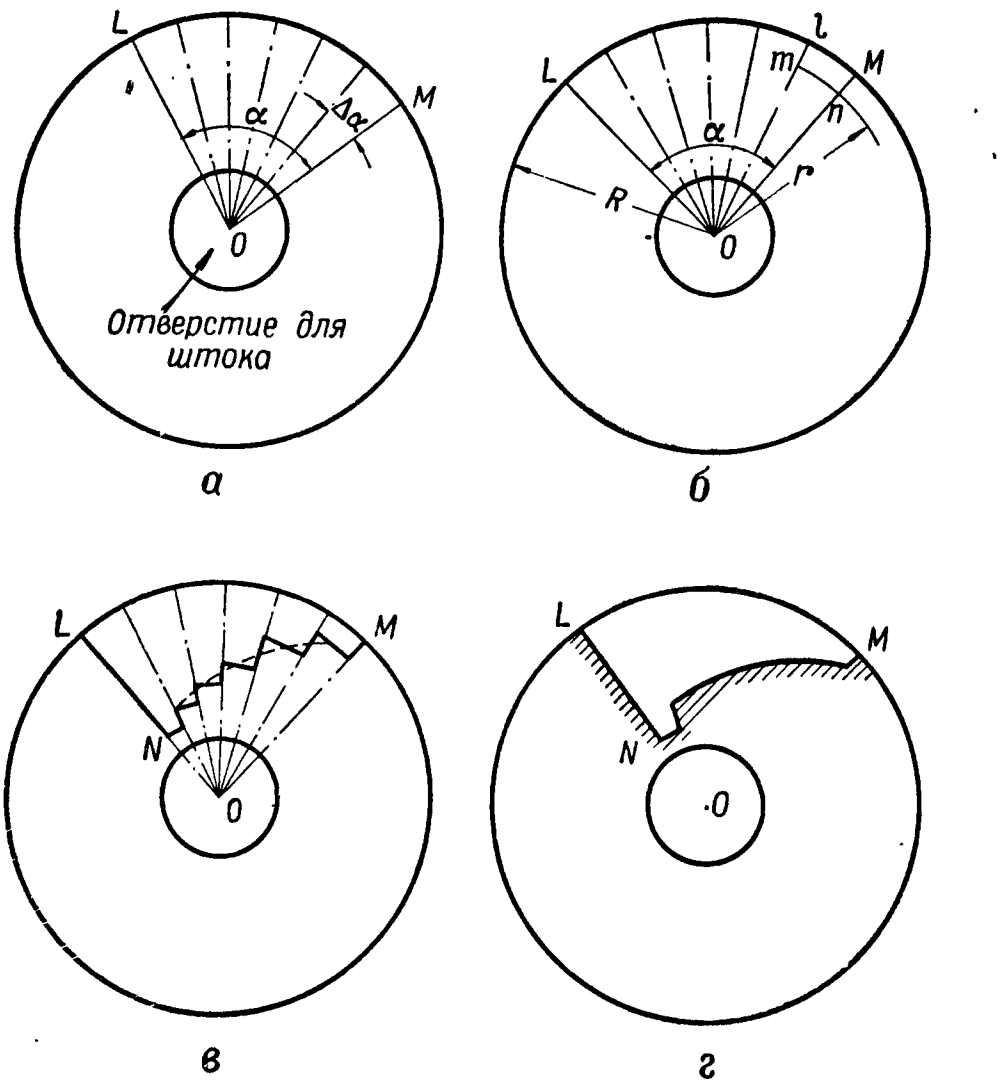


Рис. 122. Схемы (*а*, *б*, *в*, *г*) к расчету тормоза золотникового типа

Для равномерной нагрузки поршня тормоза делается не одно, а несколько симметрично расположенных отверстий для истечения жидкости, контур которых может быть получен вышеизложенным способом.

Точно так же определяются отверстия в тормозе наката золотникового типа.

Примечание. Отверстие в поршне имеет форму сегмента с радиусами R и ON, угол сегмента в поршне ($\alpha_{порш}$) равен углу поворота золотника за все время отката

$$\alpha_{порш} = \alpha \frac{\lambda}{\lambda - X_к}.$$

§ 7. ПРАКТИЧЕСКИЕ ВЫВОДЫ ИЗ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ОСНОВ РАБОТЫ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ТОРМОЗОВ

На основе теоретических формул для силы гидравлического сопротивления тормоза можно предвидеть, что будет происходить с орудием при стрельбе в различных боевых условиях, если не принимать специальных мер предосторожности и не соблюдать требований руководств службы.

Формулы для силы гидравлического сопротивления $\Phi = \frac{k\gamma A_т^3}{20ga^2} V^2$ (для тормоза неверетенного типа), $\Phi = \frac{k\gamma (A_т - A_в)^3}{20ga^2} V^2$ (для тормоза веретенного типа) показывают, что сила Φ для тормозов всех типов растет с увеличением k, γ, V и с уменьшением отверстия истечения a.

В зависимости от температуры у одного и того же орудия может резко меняться величина k. С увеличением температуры k уменьшается за счет уменьшения трения между слоями жидкости (вязкость становится меньше).

С уменьшением температуры величина k возрастает и может принимать весьма большие значения при очень больших морозах (загустевание жидкости).

Если применять в качестве тормозной жидкости веретенное масло или стеол без примеси спирта, то коэффициент k резко возрастает даже при температуре минус 20—30°. Поэтому обеспечение орудий требуемой жидкостью (с учетом сезона и географических условий) является весьма важным условием нормальной работы тормозов.

При загрязнении жидкости уменьшаются отверстия a и увеличивается величина k, поэтому в тормозах должна находиться только чистая жидкость.

При стрельбе усиленными зарядами или при стрельбе при высокой температуре заряда будет происходить значительное увеличение энергии отката и скорости отката V, что приведет к резкому увеличению силы Φ, сопровождающемуся ростом силы сопротивления R и давления в цилиндре тормоза. Увеличение R может вызвать неустойчивость орудия при выстреле, уменьшение меткости и скорострельности (удобство обслуживания ухудшается).

Увеличение силы Φ вызовет увеличение напряжения в штоке и цилиндре тормоза.

Особо внимательно следует производить ремонт тормозов, не допуская уменьшения или увеличения отверстий истечения, а при сборке проверять уплотнения, чтобы при больших давлениях не было утечки жидкости. Утечка жидкости вызовет изменение всей работы тормоза. В этом случае в начале отката тормоз не будет работать и скорость отката будет значительно больше нормальной. Это приведет к толчкам и нарушению работы тормоза (резко возрастет сила Φ, а вместе с ней давление в тормозе и общая сила сопротивления откату R).

При стрельбе без дульного тормоза (если он снят по какой-либо причине) скорость отката сильно увеличится, а следовательно, возрастут сила Φ, давление в тормозе и сила R, что и может привести к потере устойчивости орудия и разрушению тормоза (обрыв штока или повреждение цилиндра).

При увеличении темпа стрельбы температура жидкости в тормозе повышается. Нарушение установленных норм может привести к тому, что жидкость в тормозе закипит и значительно увеличится в объеме, в результате чего резко увеличится давление в цилиндре и сопротивление откату. Вследствие этого будут получаться недокаты ствола и нарушится работа орудия.

Рассмотрим, как влияет износ деталей тормоза на его работу.

В процессе стрельбы происходит постепенный износ рубашки поршня, регулирующего кольца и цилиндра тормоза. Все это приводит к увеличению отверстий истечения a, а следовательно, к уменьшению силы гидравлического сопротивления Φ и сопровождается сильными ударами в конце отката, вследствие чего нарушается устойчивость орудия и возрастают напряжения в деталях. Поэтому необходимо периодически осматривать и обмерять детали тормоза и в случае сильного изменения их размеров отправлять орудие в ремонт.

Неточность обработки и деформация деталей могут нарушить работу противооткатных устройств. Например, несовпадение осей цилиндра тормоза, рубашки поршня, штока поршня и отверстия сальника для хода штока вызывает большие силы трения и быстрый износ деталей, приводящий к увеличению отверстий истечения и, следовательно, уменьшению силы Φ, а большие силы трения могут явиться причиной неустойчивости орудия при стрельбе. Поэтому следует аккуратно производить разборку и сборку противооткатных устройств, применяя только штатный инструмент, не нарушая последовательности операций и соблюдая особые указания руководств службы; кроме того, следует особо тщательно проверять детали после ремонта.

Вмятины на цилиндре тормоза могут вызвать быстрый износ деталей, увеличение сил трения, потерю устойчивости

орудия при стрельбе и даже выход орудия из строя (обрыв штока). Поэтому необходимо проводить предупредительно-плановые осмотры, в процессе которых выявлять и устранять все неисправности.

После сборки, ремонта, длительного перерыва между стрельбами, а также после больших переходов по пересеченной местности следует проверять работу противооткатных устройств путем искусственного отката и наката. Эту проверку необходимо проводить под руководством офицера и только при наличии специального приспособления (для отката на полную длину).

Исключительно важно обеспечить правильную сборку деталей, регулирующих величину отверстий в орудиях с переменной длиной отката. Если в результате небрежной сборки тормоза с переменной длиной отката окажется, что отверстия истечения открываются на наибольшую величину при больших углах возвышения, то при выстреле произойдет удар казенной части о землю. При стрельбе при малых углах возвышения такое орудие будет неустойчиво (будет сильно подпрыгивать). Поэтому необходимо особо тщательно проверять качество разборки и сборки противооткатных устройств и повседневно наблюдать за их состоянием. После ремонта проверку противооткатных устройств производят стрельбой, начиная с наименьшего заряда.

§ 8. ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА ЭЛЕМЕНТОВ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ТОРМОЗОВ

Пример 1. Рассчитать тормоз (шток и цилиндр) 152-*мм* пушки на прочность (см. примеры расчета накатников).

Наибольшее внутреннее давление в цилиндре $p_{max} = 300$ *кг/см*^{2}. Рабочая площадь тормоза отката $A_т = 200$ *см*^{2}. Наружный диаметр штока $d_{ш.\,т} = 10$ *см*.

Вес штока с поршнем $Q_{ш.\,т} = 150$ *кг*. При выстреле откатывается шток тормоза. $Q_0 = 5000$ *кг*; $P_{max} = 3000$ *кг/см*^{2}.

Диаметр наименьшего сечения штока $d_{ш.\,т.\,min} = 9$ *см*.

Решение.

1. Определение внутреннего диаметра цилиндра тормоза:

$$D_{т.\,вн} = \sqrt{\frac{4A_т}{\pi} + d^2_{ш.\,т}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 200}{3{,}14} + 10^2} = 18{,}8 \text{ см} = 188 \text{ мм}.$$

2. Определение силы инерции штока:

$$I_{ш.\,т} = \frac{Q_{ш.\,т}}{Q_0} \cdot P_{max} \cdot S = \frac{150}{5000} \cdot 3000 \cdot 0{,}8 \cdot 15{,}2^2 = 17300 \text{ кг}.$$

3. Определение наибольшего значения силы гидравлического сопротивления тормоза:

$$\Phi_{max} = p_{max} \cdot A_т = 300 \cdot 200 = 60000 \text{ кг}.$$

4. Определение необходимого предела упругости металла штока тормоза при запасе прочности $\eta = 3$:

$$\sigma_e = \frac{\eta (\Phi_{max} + l_{ш.\,т.\,max})}{\frac{\pi d^2_{ш.\,т.\,min}}{4}} = \frac{3\,(60000 + 17300)}{\frac{3{,}14 \cdot 9^2}{4}} = 3640 \ кг/см^2.$$

5. Определение наружного диаметра цилиндра тормоза.

Задаваясь пределом упругости металла цилиндра σ_e, найдем $D_{т.\,нар}$ по формуле трубы-моноблока при $\eta = 3$.

Примем $\sigma_e = 4000 \ кг/см^2$, тогда:

$$D_{т.\,нар} = D_{т.\,вн} \sqrt{\frac{3\sigma_e + 2\eta p_{max}}{3\sigma_e - 4\eta p_{max}}} =$$

$$= 18{,}8 \sqrt{\frac{3 \cdot 4000 + 2 \cdot 3 \cdot 300}{3 \cdot 4000 - 4 \cdot 3 \cdot 300}} = 24{,}2 \ см.$$

Округляя в бóльшую сторону, примем $D_{т.\,нар} = 24{,}5 \ см = 245 \ мм$.

Пример 2. Исходя из условий примера 1, определить величину отверстия истечения a в тормозе отката неверетенного типа, если: скорость отката при $p = 300 \ км/см^2$ равна $V = 10 \ м/сек$; коэффициент сопротивления $k = 1{,}7$; жидкость — стеол М.

Решение.

Определим величину отверстия истечения по рабочей формуле:

$$a = A_т V \sqrt{\frac{k\gamma A_т}{20 g \Phi}} = 200 \cdot 10 \sqrt{\frac{1{,}7 \cdot 1{,}1 \cdot 200}{20 \cdot 9{,}81 \cdot 60000}} =$$

$$= 2000 \sqrt{0{,}317 \cdot 10^{-4}} = 11{,}24 \ см^2.$$

Пример 3. Определить величину отверстия истечения a для тормоза веретенного типа, если: $\Phi = 60000 \ кг$; $D_{т.\,вн} = 18{,}8 \ см$; $d_к = 7 \ см$; $V = 10 \ м/сек$; $d_{ш.\,т} = 10 \ см$; $k = 1{,}7$; жидкость — стеол М.

Решение.

1. Предварительные вычисления:

$$A_т = \frac{\pi}{4} (D^2_{т.\,вн} - d^2_{ш.\,т}) = 200 \ см^2,$$

$$A_в \approx A_к = \frac{\pi}{4} d^2_к = \frac{3{,}14}{4} 7^2 = 38{,}5 \ см^2.$$

2. Определим величину отверстия истечения по формуле

$$a = (A_т - A_в)\, V \sqrt{\frac{k\gamma\,(A_т - A_в)}{20g\Phi}} =$$

$$= (200 - 38{,}5) \cdot 10 \sqrt{\frac{1{,}7 \cdot 1{,}1\,(200 - 38{,}5)}{20 \cdot 9{,}81 \cdot 60000}} =$$

$$= 161{,}5 \cdot 10 \sqrt{0{,}257 \cdot 10^{-4}} = 8{,}2 \ см^2.$$

Пример 4. Определить давление в тормозе веретенного типа в момент, соответствующий условиям примера 3.

Решение.

$$p = \frac{k\gamma\,(A_т - A_в)^3}{20ga^2\,(A_т - A_к)}\, V^2 \approx \frac{1{,}7 \cdot 1{,}1 \cdot 161{,}5^2}{20 \cdot 9{,}81 \cdot 8{,}2^2} \cdot 10^2 = 370 \ кг/см^2.$$

Пример 5. Определить необходимый предел упругости металла цилиндра тормоза отката, если известно: $D_{т.\,вн} = 162$ *мм*; $D_{т.\,нар} = 210$ *мм*; $p_{max} = 370$ *кг/см²*; $\eta = 3$.

Решение.

$$\sigma_e = \frac{2}{3} \cdot \eta \cdot p_{max}\, \frac{2D^2_{т.\,нар} + D^2_{т.\,вн}}{D^2_{т.\,нар} - D^2_{т.\,вн}} =$$

$$= \frac{2}{3}\, 3 \cdot 370\, \frac{2 \cdot 21^2 + 16{,}2^2}{21^2 - 16{,}2^2} = 4800 \ кг/см^2.$$

ГЛАВА VIII

НАКАТ

§ 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАКАТА. ВОЗМОЖНЫЕ НЕНОРМАЛЬНОСТИ НАКАТА ПРИ НЕИСПРАВНЫХ ИЛИ НЕОТРЕГУЛИРОВАННЫХ ПРОТИВООТКАТНЫХ УСТРОЙСТВАХ

Накатом называется возвращение откатных частей после отката в исходное положение под действием накатника. Движение наката должно быть достаточно энергичным, плавным и без удара в конце движения, при этом откатные части должны полностью возвращаться в исходное положение перед выстрелом. При неисправных или неотрегулированных противооткатных устройствах накат может характеризоваться следующими ненормальностями:

1. Накат происходит слишком медленно (вялый накат), в результате чего увеличивается время между выстрелами, уменьшается скорострельность, а при больших углах возвышения откатные части не возвращаются в переднее положение или сползают медленно назад на некоторое расстояние; стрельбу приходится прекратить.

2. Откатные части не возвращаются полностью в исходное положение перед выстрелом, в результате чего происходят задержки и перерывы в стрельбе.

3. Накат происходит неплавно, рывками, с ударами откатных частей по неподвижным частям, что приводит к сбиванию наводки, к перемещению всего орудия (неустойчивость при накате); уменьшается скорострельность и точность стрельбы, увеличивается износ деталей.

4. Накат происходит весьма энергично, с резким ударом откатных частей по неподвижным частям в конце наката, что приводит к перемещению всего орудия, быстрому износу деталей полуавтоматики, буферных устройств лафета, деталей люльки и противооткатных устройств, к нарушению работы механизмов прицела и наведения орудия, а также полуавтоматики затвора. В этом случае резко уменьшается скорострельность, понижается точность стрельбы.

5. Накат совсем не происходит или получается большой недокат, в результате чего стрельба прекращается и орудие выходит из строя на продолжительное время.

§ 2. СИЛЫ, ДЕЙСТВУЮЩИЕ НА ОТКАТНЫЕ ЧАСТИ ПРИ НАКАТЕ

Основной силой, возвращающей откатные части в исходное положение, является усилие накатника $П$. Величину этой силы в любой точке наката примем равной величине ее в данной точке при откате.

Все остальные силы связи откатных частей с неподвижными частями лафета будут действовать и при накате, причем некоторые из них изменят величину и направление или только направление.

Принимаем неизменными по величине, но изменившими направление силы трения (F) поршней и в сальниковых уплотнениях, а также силы трения на направляющих люльки (T). Силы трения всегда направлены против движения [1].

Положительным направлением сил, действующих во время наката, принимаем направление наката.

Равнодействующая всех сил, действующих во время наката на откатные части, обозначается буквой r и называется равнодействующей наката [2]:

$$r = П - Ф' - T' - F' - Q_0 \sin\varphi - K'.$$

Сила веса Q_0 сохраняет свою величину и направление.

Дополнительное сопротивление движению K' имеет совсем другую величину и направление, чем при откате. Особо резко изменяется величина гидравлического сопротивления тормоза во время наката по сравнению с величиной сопротивления его во время отката.

Гидравлическое сопротивление при накате $Ф'$ слагается из двух частей:

$$Ф' = Ф'_0 + Ф'_н.$$

---

[1] В действительности силы трения F' и T' во время наката отличаются от сил трения F и T во время отката; более того, силы трения непрерывно меняются в связи с изменением скорости движения откатных частей, а при откате на величины трений влияет еще действие динамической пары ($P_{кн} \cdot e$). Для упрощения исследования берут средние значения сил трения F и T, постоянные на всем пути отката и наката.

[2] Из механики известно, что при прямолинейном движении тела направление движения центра тяжести тела совпадает с направлением равнодействующей всех сил, приложенных к данному телу.

Так как движение откатных частей во время отката и наката является прямолинейным и параллельным оси канала ствола (мы рассматриваем здесь только такой случай движения), то силы r и $r_{лаф}$ параллельны оси канала ствола и проходят через центр тяжести откатных масс.

Одна часть связана с движением жидкости через отверстия, определяемые при расчете отката, и называется сопротивлением тормоза отката при накате Φ'_0. Вторая часть сопротивления связана с движением жидкости через отверстия, специально определяемые при расчете наката, и называется сопротивлением тормоза наката при накате $\Phi'_н$. У большинства тормозов отката веретенного типа тормоз наката канавочного типа.

§ 3. ПЕРИОДЫ НАКАТА

В зависимости от направления и величины силы r, действующей на откатные части, различают три периода наката (рис. 123):

1. Ускоренный накат, когда $r > 0$, т. е. r направлена в сторону наката (толкает ствол вперед) и скорость наката возрастает.

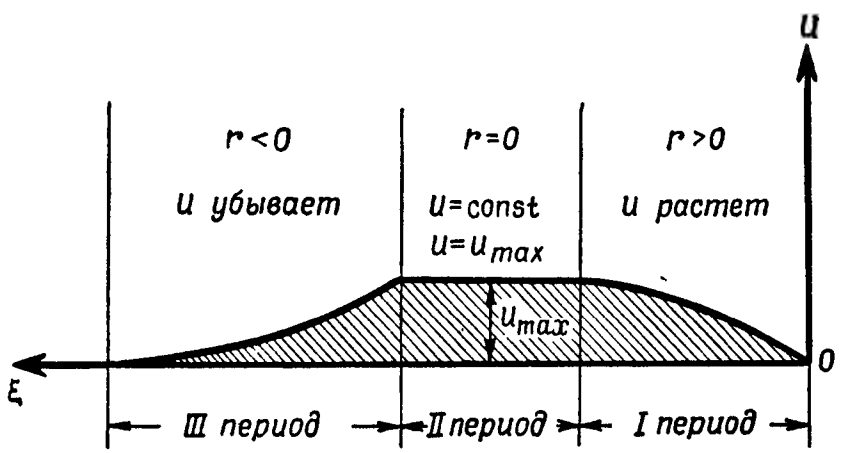


Рис. 123. Диаграмма скорости наката по его периодам

2. Равномерный накат, когда $r = 0$, т. е. когда скорость наката остается неизменной ($u = \text{const}$).

3. Замедленный накат, когда $r < 0$, т. е. r направлена в сторону, обратную движению (тормозит движение), и скорость наката убывает.

Во многих системах период равномерного наката отсутствует; в этом случае накат состоит из двух периодов — ускоренного и замедленного. Для увеличения скорострельности у некоторых автоматических орудий малого калибра почти весь накат делают ускоренным и лишь на коротком участке осуществляют резкое торможение, что сильно снижает живучесть деталей.

Понятие о вакууме в тормозе отката

У всех наших орудий с раздельным тормозом и накатником при откате в тормозе отката получается вакуум. Это происходит в результате того, что во время отката из цилиндра

тормоза выходит часть штока (на длину, равную длине отката). В противооткатных устройствах, у которых тормоз и накатник являются единым агрегатом, вакуум при откате не образуется.

Наличие вакуума препятствует тормозу отката принять участие в торможении ствола с начала наката. Но с другой стороны, наличие вакуума дает возможность получить большую скорость наката (если это требуется ради увеличения скорострельности).

Путь наката, на котором выбирается вакуум в тормозе отката

При накате благодаря перемещению поршня уменьшается объем передпоршневой части цилиндра тормоза и вакуум устраняется. Длина пути наката, на котором выбирается весь вакуум в передпоршневой части цилиндра, обозначается буквой ρ. Величина ρ определяется из уравнения равенства объемов вакуума (устраняемый объем вакуума при накате равен созданному объему его при откате):

$$\frac{\pi D_{\text{п}}^2}{4}\rho = \frac{\pi d_{\text{ш}}^2}{4}\lambda.$$

Отсюда

$$\rho = \lambda\left(\frac{d_{\text{ш}}}{D_{\text{п}}}\right)^2,$$

где $D_{\text{п}}$ — наружный диаметр поршня;
$d_{\text{ш}}$ — наружный диаметр штока.

§ 4. УСТОЙЧИВОСТЬ ОРУДИЯ ПРИ НАКАТЕ

Устойчивостью орудия во время наката называется отсутствие вращения орудия под действием сил, взаимодействия с откатными частями. Силой, стремящейся опрокинуть орудие, является сила $r_{\text{лаф}}$ действия откатных частей орудия на неподвижные части лафета (рис. 124).

По принципу «действие равно по величине и противоположно по направлению противодействию» откатные части действуют на неподвижные части лафета с такой же силой r, какая действует на них со стороны лафета, но обратно направленной (аналогично действию силы R при откате).

Поэтому

$$r_{\text{лаф}} = -r.$$

Точка приложения силы $r_{\text{лаф}}$ — центр тяжести откатных частей.

Рассмотрим условия устойчивости орудия при накате по периодам:

1. Период ускоренного наката.

В этот период сила $r_{лаф}$, действующая на лафет, направлена назад и стремится вращать орудие вокруг сошника.

Сила $r_{лаф}$ в несколько раз меньше силы $R_{лаф}$. Так как орудие рассчитывается на устойчивость при действии силы $R_{лаф}$, то в первый период наката орудие будет заведомо устойчивым.

2. Период равномерного наката.

В течение этого периода сила $r_{лаф} = 0$, и, следовательно, нет причин, по которым происходило бы вращение орудия. Поэтому проверять устойчивость орудия при равномерном накате нет необходимости.

3. Период замедленного наката.

В течение этого периода сила $r_{лаф}$, действующая на лафет, направлена вперед и стремится вращать орудие вокруг опоры колес дулом книзу.

Вывод. Для проверки устойчивости орудия во время наката достаточно исследовать устойчивость только для замедленного наката.

Условие устойчивости при замедленном накате

(рис. 124)

Сила $r_{лаф}$ приложена к центру тяжести откатных частей (на основании того, что действие и противодействие имеют общую точку приложения) и стремится вращать орудие вокруг опоры колес дулом книзу.

Кроме силы $r_{лаф}$, на орудие действуют: вес орудия в боевом положении $Q_б$ (эта сила приложена к центру тяжести орудия), реакции опор на колеса $N'_{лб}$, на сошник $T'_{хб}$ и на сошниковый лист $N'_{хб}$. Считаем, что силы $T'_{хб}$ и $N'_{хб}$ приложены к центру опорных поверхностей сошника и сошникового листа.

На пределе устойчивости сошниковый лист не будет давить на грунт и, следовательно, реакция $N'_{хб}$ будет равна нулю. Наиболее трудно обеспечить устойчивость орудия при накате, если стрельба ведется с бетонной или асфальтовой площадки без упора впереди сошника (в случае испытания систем и в условиях уличных боев).

На пределе устойчивости орудия без упора впереди сошника сила $T'_{хб}$ также будет равна нулю.

Следовательно, на пределе устойчивости только одна сила $r_{лаф}$ будет стремиться вращать орудие вокруг передней опоры (центр тяжести орудия находится сзади боевой оси,

чтобы орудие не опрокидывалось до выстрела). Обозначив плечо силы $r_{лаф}$ относительно передней опоры через h', получим выражение для опрокидывающего момента:

$$M'_{опр} = r_{лаф} h'.$$

Обычно устойчивость проверяют при угле возвышения $\varphi = 0$. В этом случае плечо силы $r_{лаф}$ относительно передней опоры можно принять примерно равным высоте линии огня, т. е. $h' \approx H$. Единственной стабилизирующей силой при накате является вес орудия $Q_б$. Плечо силы $Q_б$ относительно передней опоры меняется по мере наката и равно $L - D$.

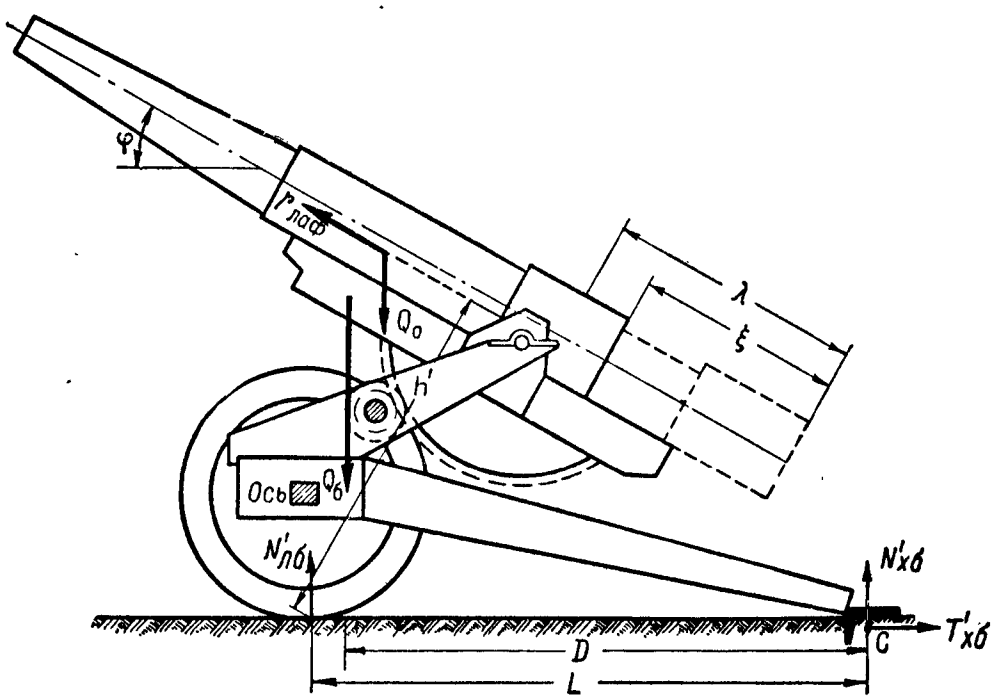


Рис. 124. Схема для определения устойчивости орудия в период замедленного наката

Поэтому стабилизирующий момент можно записать в следующем виде:

$$M'_{стаб} = Q_б (L - D).$$

Условием устойчивости орудия является

$$|M'_{стаб}| > |M'_{опр}|.$$

Самое малое плечо силы $Q_б$ будет в конце наката $(L - D_0)$.

Самое большое плечо силы $Q_б$ будет в начале торможенного наката.

Зная общую зависимость D от положения откатных частей при откате $Q_6 D = Q_6 D_0 - Q_0 X \cos\varphi$, где $X = \lambda - \xi$ и ξ — путь наката, отсчитываемый от начала наката, получим

$$Q_6 D = Q_6 D_0 - Q_0 (\lambda - \xi) \cos\varphi.$$

Так как $\cos\varphi$ имеет наибольшее значение при $\varphi = 0$, то стабилизирующий момент будет наименьшим при горизонтальном положении ствола в конце наката.

Напишем условие предела устойчивости для замедленного наката (условие отсутствия вращения орудия вокруг передней опоры):

$$\sum M_к = - r_{лаф} h' + Q_6 (L - D) = 0.$$

Отсюда значение силы $r_{лаф}$, допускаемое условием устойчивости для любого угла φ, будет равно

$$r_{лаф} = - r \leqslant \frac{Q_6 (L - D)}{h'} = \frac{Q_6 (L - D_0) + Q_0 (\lambda - \xi) \cos\varphi}{h'},$$

а для $\varphi = 0°$

$$r_{лаф} = - r \leqslant \frac{Q_6 (L - D_0) + Q_0 (\lambda - \xi)}{H}.$$

Из формул для $r_{лаф}$ следует, что сила r может изменяться от наибольшего значения (в начале замедленного наката) до наименьшего (в конце наката) по закону прямой в зависимости от пути наката (рис. 125).

Для обеспечения надежной устойчивости орудия вводят запас устойчивости при накате m'. Обычно берут $m' = 1{,}1$.

Вывод. Для надежной устойчивости систем без забивных сошников или других приспособлений, удерживающих орудие от перемещения вперед при накате, необходимо, чтобы

$$|r| \leqslant \frac{Q_6 (L - Q_0) + Q_0 (\lambda - \xi)}{m' h'}$$

для любого момента замедленного наката.

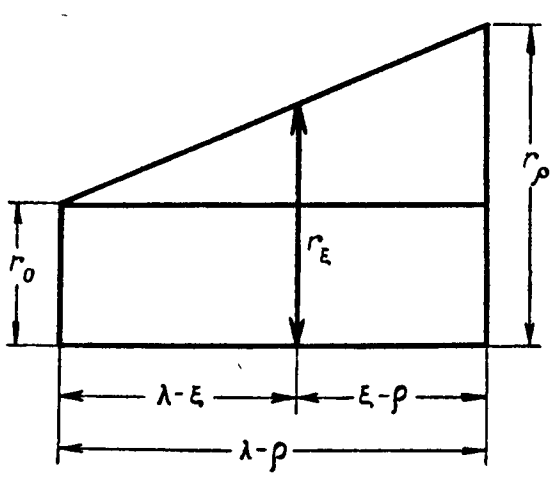


Рис. 125. График для определения величины силы r для периода замедленного наката, допускаемой условиями устойчивости орудия при накате

На практике вычисляют r при $\varphi = 0$ для двух положений откатных частей:

а) для начала замедленного наката при $\xi = \rho$

$$|r_\rho| \leqslant \frac{Q_б (L - D_0) + Q_0 (\lambda - \rho)}{m' h'};$$

б) для конца наката при $\xi = \lambda$

$$|r_0| \leqslant \frac{Q_б (L - D_0)}{m' h'}$$

и принимают

$$h' = H.$$

Для любой промежуточной точки наката допускаемая величина r определяется по графику (рис. 125) или по формуле

$$r_\xi = r_0 + \frac{r_\rho - r_0}{\lambda - \rho} (\lambda - \xi).$$

§ 5. ПОНЯТИЕ О ВЫКАТЕ ИЛИ НАБРОСЕ ОРУДИЯ

Иногда при накате после выстрела можно наблюдать бросок всего орудия вперед. Особенно хорошо это явление можно наблюдать при стрельбе из орудия, находящегося на твердом грунте без окопа.

Это явление называется выкатом или набросом орудия. Причина наброса состоит в том, что сила, толкающая лафет вперед, больше сил сопротивления грунта передвижению орудия.

Для неподвижности орудия при накате необходимо, чтобы горизонтальная составляющая силы $r_{лаф}$, равная $r_{лаф} \cos\varphi$ и толкающая орудие вперед, была не более силы $T'_{хб}$ реакции опоры на сошник. Величина сопротивления грунта $T'_{хб}$ зависит от устройства сошников и подготовки орудийной площади.

Если стрельба ведется без забивных сошников и без переднего упора под сошник, то торможение орудия происходит только силами трения между орудием и грунтом.

Сила трения прямо пропорциональна силам, прижимающим орудие к грунту.

Постоянной силой, прижимающей орудие к грунту, является вес $Q_б$. Вертикальная составляющая силы $r_{лаф}$ при $\varphi > 0$ направлена вверх и уменьшает силы трения (рассуждение относится к замедленному накату).

Проверку неподвижности орудия при накате производят при $\varphi = 0$, так как при этом значение горизонтальной составляющей силы $r_{лаф}$ будет наибольшим.

В этом случае необходимо (при стрельбе без забитых или зарытых сошников), чтобы

$$r_{\text{лаф}} \leq fQ_{\text{б}},$$

где f — коэффициент трения.

Коэффициент трения зависит от устройства колес, формы сошника и природы грунта.

Очень большое значение имеет колесный тормоз (или тормоз гусеничного хода). При включенном тормозе коэффициент трения f может доходить до единицы (на растительном грунте).

Резиновые шины выгоднее стальных, так как имеют больший коэффициент трения.

Для устранения наброса необходимо применять забивные сошники, делать упор для незабивных сошников сзади и спереди, тормозить колеса.

Явление наброса уменьшает скорострельность, так как после каждого выстрела приходится затрачивать значительное время на восстановление наводки орудия.

§ 6. ДЕЛЕНИЕ ДЛИНЫ НАКАТА НА УЧАСТКИ ПО ПЕРИОДАМ НАКАТА

Обычно замедленный накат начинается после выбора вакуума, т. е. после того, как откатные части пройдут путь

$$\rho = \lambda \left(\frac{d_{\text{ш}}}{D_{\text{п}}}\right)^2.$$

У систем с двумя периодами наката на всем пути выбора вакуума происходит ускоренный накат.

Накат с двумя периодами наката применяют в орудиях стационарных, морских, танковых, самоходных и тяжелых, а также в зенитных с забивными сошниками (так как эти орудия устойчивы при накате).

Для полевых орудий (без забивных сошников и с ограниченным весом в боевом положении) применяется схема наката с тремя периодами. Это объясняется тем, что весьма трудно обеспечить устойчивость при накате орудий малого веса.

Конструктивно деление длины наката на желаемые участки по периодам наката (ускоренного, равномерного и замедленного) определяют расчетом тормоза наката, обеспечивая при этом устойчивость при накате.

При большой устойчивости при накате для уменьшения времени наката от начала наката до выбора вакуума сопротивление тормоза наката делают равным нулю. Это обеспе-

чивается применением тормоза наката игольчатого типа. В этом случае сопротивление тормоза отката до выбора вакуума также равно нулю.

Для уменьшения времени наката необходимо иметь возможно большую среднюю скорость наката. Поэтому чем легче в данной системе обеспечить устойчивость при накате (большой вес, забивные сошники), тем больше следует делать участок ускоренного наката.

ГЛАВА IX

ТИПОВЫЕ СХЕМЫ НАКАТА (ОСОБЕННОСТИ СХЕМ И ОБЛАСТИ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ)

§ 1. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

Для наглядного изображения и исследования действия на откатные части всех сил во время наката по периодам принято строить специальные диаграммы сил в зависимости от пути наката, так называемые схемы наката.

На этих схемах все силы откладывают только вверх от горизонтальной оси, а пути наката — по горизонтальной оси. Сначала строят кривую силы накатника. Затем строят прямую суммы сил, не изменяющих свою величину во время наката ($T' + F' + Q_0 \sin\varphi + K'$). Для графического суммирования всех сил принято все силы, тормозящие накат, т. е. все силы, кроме силы накатника, откладывать в том же направлении — вверх от оси $O\xi$. На диаграмме силы, тормозящие накат, строят одну над другой.

§ 2. ПРОСТЕЙШАЯ СХЕМА НАКАТА С ДВУМЯ ПЕРИОДАМИ. НАКАТ В СТАЦИОНАРНЫХ ОРУДИЯХ И В ОРУДИЯХ, ЗАВЕДОМО УСТОЙЧИВЫХ ПРИ НАКАТЕ

Конструкции тормозов, в которых осуществлена данная схема, указаны на рис. 103 и 104.

Данная схема характеризуется отсутствием гидравлического сопротивления в первом периоде наката и постоянным значением силы r во втором периоде наката. Эта схема дает возможность получить небольшое время наката благодаря большой его скорости (что важно для скорострельности) и небольшие напряжения в деталях тормоза. Расчет движения при этой схеме очень простой (рис. 126).

Длина наката первого периода соответствует пути выбора вакуума ρ.

В первом периоде наката гидравлическое сопротивление отсутствует, т. е.

$$\Phi_{\text{I периода}} = 0.$$

Это обеспечивается принятием короткого веретена — иглы.

Значение силы r для любого момента первого периода определяется выражением

$$r_1 = П - T' - F' - Q_0 \sin\varphi - K'.$$

Наибольшая скорость наката (в конце I периода) u_{max} определяется из условия равенства работы силы r_1 живой силе откатных частей при накате. Для вычисления u_{max} допустим, что сила r в первом периоде меняется в зависимости от пути по

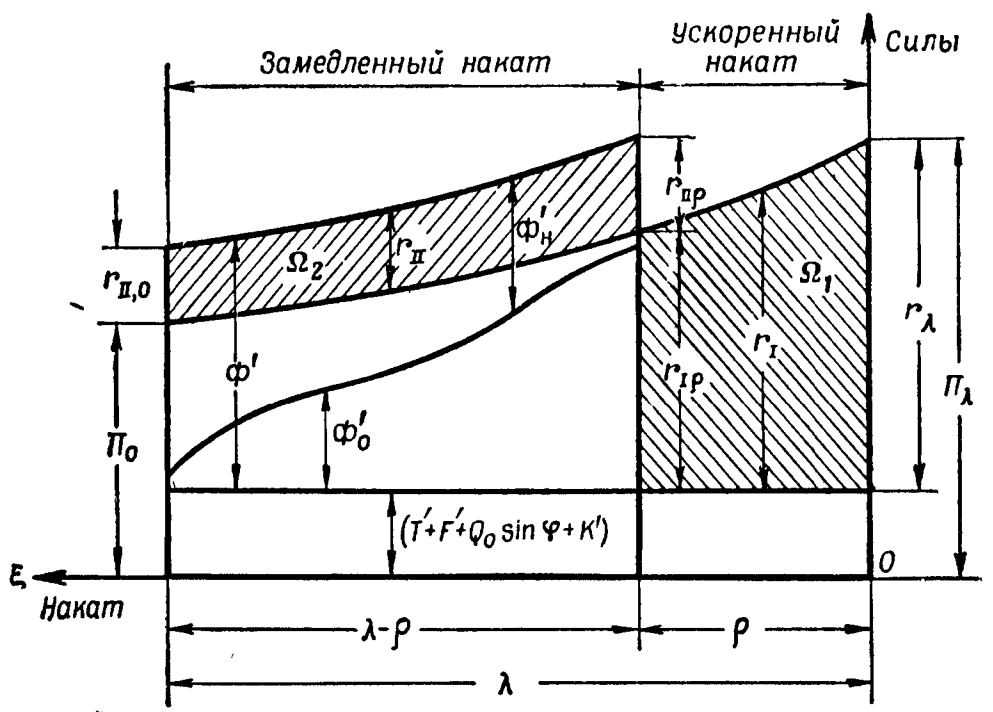


Рис. 126. Диаграмма сил, действующих при накате на откатные части орудия в случае отсутствия гидравлического торможения на пути выбора вакуума и при постоянной силе r_{II} во время замедленного наката

закону прямой. Поэтому работа силы r в первом периоде наката определяется как площадь трапеции Ω_1. На диаграмме эта работа изображена заштрихованной площадью под линией силы накатника $П$.

$$\frac{Q_0 u^2_{max}}{2g} = \frac{r_\lambda + r_{Iр}}{2}\rho.$$

Отсюда имеем

$$u_{max} = \sqrt{\frac{(r_\lambda + r_{Iр})}{Q_0}\rho g}.$$

Значение r_{II} для второго периода наката определяется из условия равенства работы силы r_{II} на пути $(\lambda - \rho)$ живой силе откатных частей, которую они имели в начале этого пути, т. е.

$$r_{II}(\lambda - \rho) = \frac{Q_0 u_{max}^2}{2g}.$$

Поэтому

$$r_{II} = \frac{Q_0 u_{max}^2}{2g(\lambda - \rho)} = \text{const}.$$

Работа силы r_{II} на диаграмме изображается заштрихованной площадью Ω_2, выступающей над линией силы накатника $П$. Эта площадь равновелика площади прямоугольника с основанием $\lambda - \rho$ и высотой r_{II} (см. рис. 126).

Определение гидравлического сопротивления Φ' при накате и его составляющих Φ'_0 и $\Phi'_н$ во втором периоде наката

Для указанной схемы сила гидравлического сопротивления Φ' меняется только в зависимости от изменения силы накатника и определяется выражением

$$\Phi' = П + r_{II} - (T' + F' + Q_0 \sin\varphi + K').$$

Сопротивление тормоза отката при накате Φ'_0 для любого момента определяется в зависимости от скорости наката u для данного положения откатных частей. Скорость наката на основании закона живых сил определяется из выражения

$$\frac{Q_0}{2g}(u_{max}^2 - u^2) = r_{II}(\xi - \rho).$$

Поэтому

$$u^2 = u_{max}^2 - \frac{2r_{II}(\xi - \rho)g}{Q_0}.$$

Применяя основную формулу для гидравлического тормоза (14т), получим выражение для гидравлического сопротивления тормоза отката при накате:

$$\Phi'_0 = \frac{k\gamma A_т'^3}{20ga'^2} u^2.$$

Значение величин:

$A'_т$ — рабочая площадь поршня тормоза отката при накате; для тормоза отката веретенного типа

$$A'_т = \frac{\pi}{4}(D_п^2 - d_к^2);$$

$d_к$ — диаметр регулирующего кольца тормоза;

a' — отверстие истечения жидкости в тормозе отката (определяется при расчете отката); обычно $a' = a$. У некоторых систем a при накате может уменьшаться (за счет клапана) до нуля (см. схему клапанного тормоза, рис. 106). Значение силы гидравлического сопротивления тормоза наката $\Phi'_н$ для любого момента наката определяется как разность двух известных величин:

$$\Phi'_н = \Phi' - \Phi'_0.$$

Для получения необходимого значения $\Phi'_н$ вычисляют отверстие истечения $a'_н$, применяя основную формулу (14т)

$$\Phi'_н = \frac{k\gamma A'^3_{тн}}{20ga'^2_н} u^2.$$

Отсюда получим

$$a'_н = \sqrt{\frac{k\gamma A'^3_{тн}}{20g} \cdot \frac{u^2}{\Phi'_н}},$$

где $A'_{тн}$ — рабочая поверхность тормоза наката при накате;

$a'_н$ — отверстие истечения жидкости в тормозе наката при накате; в данном случае $a'_н$ — зазор между регулирующим кольцом в штоке и иглой — коротким веретеном.

Необходимый зазор может получиться либо за счет изменения диаметра иглы, либо за счет фрезерования канавок на игле и т. д.

Продолжительность первого периода наката t_I можно вычислить приближенно (рис. 126), допустив, что сила r меняется в зависимости от времени по закону прямой.

В этом случае t_I найдется по закону импульсов (импульс средней силы равен приращению количества движения):

$$\frac{r_\lambda + r_{I\rho}}{2} t_I = \frac{Q_0}{g} u_{max}.$$

Решая это уравнение относительно t_{I}, получим

$$t_{\text{I}} = \frac{2Q_0 u_{\max}}{(r_\lambda + r_{\text{I}\rho})\, g}.$$

Продолжительность второго периода наката t_{II} определится по закону импульсов при $r_{\text{II}} = \text{const}$:

$$r_{\text{II}} t_{\text{II}} = \frac{Q_0}{g} u_{\max}.$$

Полное время наката $t_{\text{нак}}$ равно сумме его составляющих, т. е.

$$t_{\text{нак}} = t_{\text{I}} + t_{\text{II}}$$

или

$$t_{\text{нак}} = \frac{Q_0 u_{\max}}{g}\left(\frac{2}{r_\lambda + r_{\text{I}\rho}} + \frac{1}{r_{\text{II}}}\right).$$

Ориентировочно для полевых орудий

$$u_{\max} = 1 \div 2 \frac{м}{сек}, \text{ а } t_{\text{нак}} = 1 \div 2 \text{ сек.}$$

§ 3. ОСОБЫЙ СЛУЧАЙ НАКАТА ДЛЯ УСТОЙЧИВЫХ ОРУДИЙ

(схема наката для заведомо устойчивых орудий)

В заведомо устойчивых системах первая схема не может быть осуществлена, если гидравлическое сопротивление одного тормоза отката в начале второго периода $\Phi_{0\rho}$ больше полного гидравлического сопротивления Φ'_ρ, необходимого для торможения на втором участке наката постоянной силой r_{II}. В этом случае для замедленного наката принимают силу r_{II} убывающей в зависимости от пути по закону прямой (рис. 127). Наибольшее же значение r_{II} берут в соответствии с полученным значением гидравлического сопротивления одного тормоза отката при нулевом значении силы тормоза наката так, чтобы не получалось резкого торможения наката; $\Phi'_\rho = \Phi'_{0\rho}$.

Сила r_{II} в начале замедленного наката определяется по формуле

$$r_{\text{II}\rho} = \Phi'_{0\rho} + (T' + F' + Q_0 \sin\varphi + K') - П_\rho.$$

Величина $\Phi'_{0\rho}$ определится по известным $u_{\max}$, a_ρ:

$$\Phi'_{0\rho} = \frac{k\gamma A'^3_{\text{т}}}{20 g a_\rho^2} u^2_{\max},$$

где a_ρ — отверстие истечения в тормозе отката к моменту выбора вакуума.

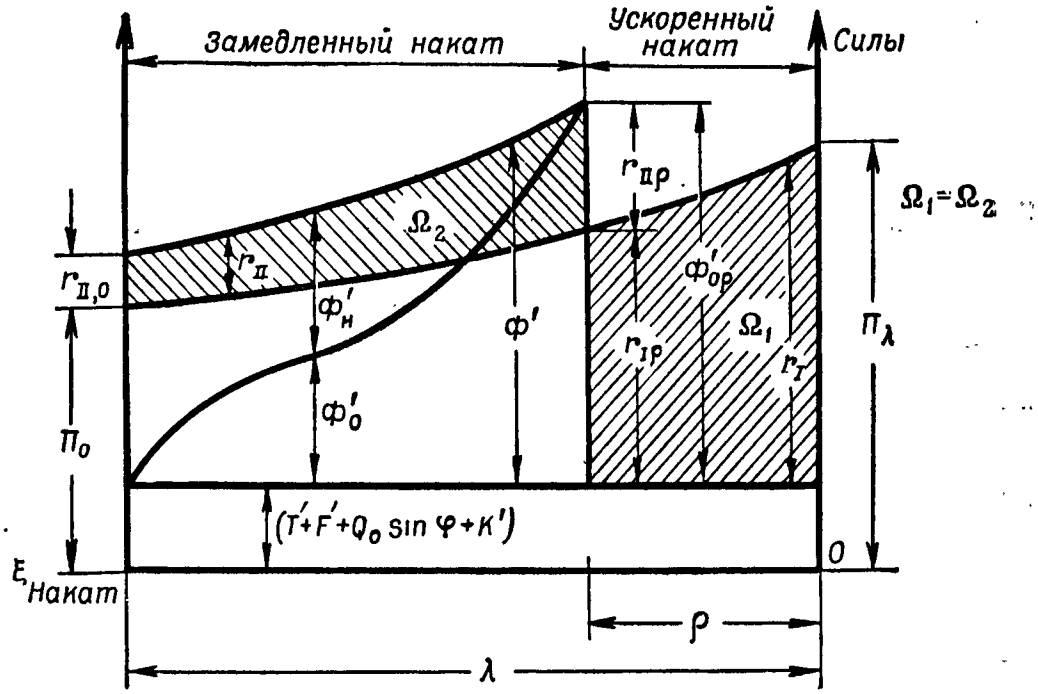


Рис. 127. Диаграмма сил, действующих при накате на откатные части стационарного (заведомо устойчивого) орудия в случае отсутствия гидравлического торможения на ускоренном участке наката, и переменной силы r во время замедленного наката

Значение силы $r_{\text{II}0}$ в конце наката определится из выражения работы торможения (обеспечить к концу отката полное торможение):

$$\Omega_2 = \frac{r_{\text{II}0} + r_{\text{II}\rho}}{2}(\lambda - \rho) = \frac{Q_0 u_{\max}^2}{2g} = \Omega_1,$$

откуда

$$r_{\text{II}0} = \frac{Q_0 u_{\max}^2}{g(\lambda - \rho)} - r_{\text{II}\rho}.$$

Скорость наката для замедленного наката (u) определяется на основании закона живых сил (для любого значения пути наката ξ):

$$u^2 = u_{\max}^2 - \frac{(r_{\text{II}\rho} + r_{\text{II}})g}{Q_0}(\xi - \rho).$$

Время замедленного наката можно определить с достаточной точностью по формуле

$$t_{\text{II}} = \frac{2Q_0 u_{\max}}{(r_{\text{II}\rho} + r_{\text{II}0})g},$$

т. е. допустив, что сила r во втором периоде меняется от времени также по закону прямой.

В этом случае полное время наката будет равно

$$t_{\text{нак}} = \frac{2Q_0}{g} u_{\max} \left[\frac{1}{r_\lambda + r_{\text{I}\rho}} + \frac{1}{r_{\text{II}\rho} + r_{\text{II}0}} \right].$$

В остальном расчет остается таким же, как и для случая $r_{\text{II}} = \text{const}$. Конструктивное выполнение данной схемы см. на рис. 103 и 104.

§ 4. НАКАТ В ОРУДИЯХ С ОГРАНИЧЕННОЙ УСТОЙЧИВОСТЬЮ

(три схемы)

Для всех систем с ограниченной устойчивостью в периоде замедленного наката сначала определяют предельно допустимое значение силы $r_{\text{пр}}$ для начала и конца замедленного периода $(r_{\text{II}\rho})_{\text{пред}}$ и $(r_{\text{II}0})_{\text{пред}}$. Затем, задаваясь запасом устойчивости при накате m', устанавливают допустимые значения силы r:

$$r_{\text{II}\rho} = \frac{(r_{\text{II}\rho})_{\text{пред}}}{m'} \quad \text{и} \quad r_{\text{II}0} = \frac{(r_{\text{II}0})_{\text{пред}}}{m'},$$

которые используют во всех дальнейших расчетах. Запас устойчивости $m' = 1{,}05—1{,}10$.

Во всех приведенных далее трех схемах наката сила r в последнем периоде (замедленном) при изменении пути убывает от r_ρ до r_0 по закону прямой линии.

Схема наката (рис. 128) с двумя периодами; тормоз наката работает на всей длине наката

В первом периоде наката (ускоренном) сила $r_{\text{I}} = \text{const}$ при наличии силы $\Phi'_{\text{н}}$, действующей по всей длине наката. Величина силы r_{I} определяется из условия возможности торможения во II периоде при сохранении устойчивости орудия при накате ($r_{\text{II}\rho}$ и $r_{\text{II}0}$ определяют из условия устойчивости орудия при накате):

$$\frac{r_{\text{II}0} + r_{\text{II}\rho}}{2}(\lambda - \rho) = \frac{Q_0 u^2_{\max}}{2g} = r_{\text{I}}\rho,$$

откуда

$$r_{\text{I}} = \frac{(r_{\text{II}0} + r_{\text{II}\rho})}{2\rho}(\lambda - \rho).$$

Конструктивное выполнение данной схемы см. на рис. 101 и 102.

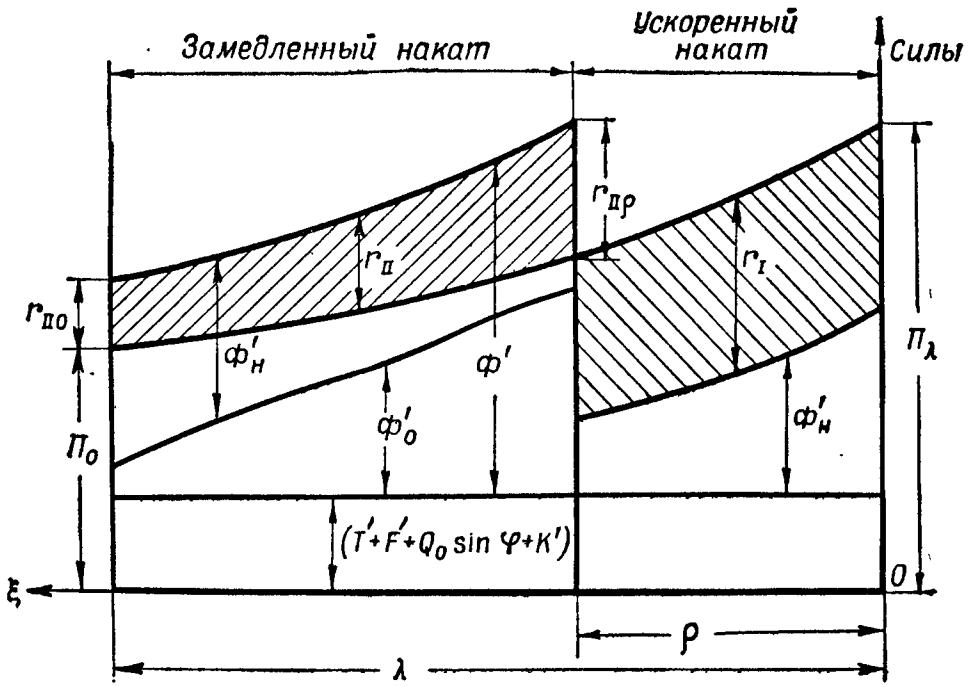


Рис. 128. Схема сил, действующих на откатные части при накате в полевых орудиях с двумя периодами наката и работой тормоза наката на всей длине наката

Значение силы $\Phi'_н$ для первого периода наката определяется по формуле

$$\Phi'_н = П - (T' + F' + Q_0 \sin\varphi + K') - r_I.$$

Зная $\Phi'_н$, вычисляют $a'_н$ по формуле (см. стр. 294)

$$a'_н = \sqrt{\frac{k\gamma A'^3_{тн}}{20g} \cdot \frac{u^2}{\Phi'_н}}.$$

$A'_{тн}$ — рабочая поверхность тормоза наката при накате.

Для тормоза наката веретенного типа (с иглой большой длины)

$$A'_{тн} = \frac{\pi d_к^2}{4}.$$

Для тормоза наката канавочного типа (канавки на внутренней поверхности штока, рис. 116)

$$A'_{тн} = \mathfrak{A} = \frac{\pi}{4} d_1^2.$$

Величина $a'_н$ представляет собой (для тормоза отката веретенного типа с модераторным устройством) сечения канавок на внутренней поверхности штока. При расчете задаются

числом канавок (чаще 2 или 4) и их шириной, а затем определяют переменную глубину канавок по известной величине $a'_н$.

Для тормоза наката веретенного типа получение размеров веретена ведется способом, указанным для иглы в системах, заведомо устойчивых при накате.

Продолжительность наката:

1. Продолжительность ускоренного наката определяют, исходя из закона импульсов:

$$r_I t_I = \frac{Q_0}{g} u_{max},$$

т. е.

$$t_I = \frac{Q_0 u_{max}}{g r_I}.$$

2. Продолжительность замедленного наката определяют по среднему значению силы r, допуская прямолинейную зависимость силы r от времени во втором периоде:

$$\frac{r_{IIp} + r_{II0}}{2} t_{II} = \frac{Q_0 u_{max}}{g}$$

или

$$t_{II} = \frac{2 Q_0 u_{max}}{g (r_{IIp} + r_{II0})}.$$

Полное время наката определяется как сумма времени наката в первом и во втором периодах:

$$t_{нак} = t_I + t_{II} = \frac{Q_0 u_{max}}{g} \left(\frac{1}{r_I} + \frac{2}{r_{IIp} + r_0} \right).$$

Схема с тремя периодами наката — тормоз наката работает на всей длине наката (рис. 129)

С целью уменьшения времени наката в полевых системах с ограниченным весом иногда прибегают к разгону откатных частей до наибольшей возможной скорости на малом участке наката ρ_0. При этом сила гидравлического сопротивления $\Phi'_н$ принимается возрастающей на этом участке в зависимости от пути по закону прямой линии. Длину замедленного участка сохраняют равной $\lambda - \rho$.

Данная схема может быть осуществлена в конструкциях, указанных на рис. 101 и 102, путем подбора $a'_н$.

Наибольшая возможная скорость наката определяется из условия возможности торможения в замедленном периоде при

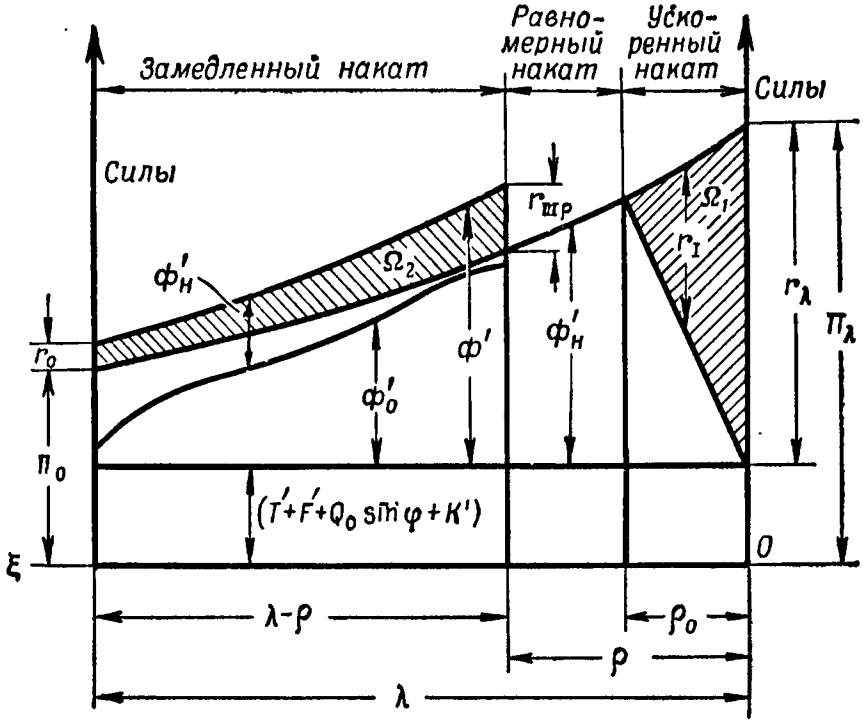


Рис. 129. Схема сил, действующих на откатные части полевых орудий при наличии трех периодов наката

сохранении устойчивости орудия. Сказанное можно выразить формулой

$$\frac{r_0 + r_{III\rho}}{2}(\lambda - \rho) = \frac{Q_0}{2g} u^2_{max},$$

откуда

$$u^2_{max} = \frac{(r_0 + r_{III\rho})\, g}{Q_0}(\lambda - \rho).$$

Величины r_0 и $r_{III\rho}$ определяются из условия устойчивости орудия при накате (см. выше, условие устойчивости). Сила r_I в конце первого периода наката принимается равной нулю.

Путь первого периода (ускоренного) наката ρ_0 определяется из закона живых сил:

$$\frac{r_\lambda}{2}\rho_0 = \frac{Q_0 u^2_{max}}{2g},$$

поэтому

$$\rho_0 = \frac{Q_0 u^2_{max}}{g r_\lambda}.$$

Величина r_I для любого участка первого периода определяется по формуле подобных треугольников:

$$r_I = r_\lambda \frac{\rho_0 - \xi}{\rho_0}.$$

Наибольшее значение силы r_{I} равно

$$r_{\lambda} = П_{\lambda} - (T' + F' + Q_0 \sin\varphi + K').$$

Сила $\Phi'_{\text{н}}$ для первого периода равна

$$\Phi'_{\text{н}} = \Phi' = П - (T' + F' + Q_0 \sin\varphi + K') - r_{\text{I}}.$$

Для второго периода

$$r_{\text{II}} = 0;\ u_{\text{II}} = u_{\max} = \text{const}$$

и

$$\Phi'_{\text{н}} = \Phi' = П - (T' + F' + Q_0 \sin\varphi + K').$$

Для третьего (замедленного) периода наката расчет ведется подобно расчету замедленного наката в орудиях с двумя периодами наката.

Продолжительность наката по периодам:

1. Продолжительность первого периода определяется по закону импульсов (при допущении, что r уменьшается в зависимости от времени по закону прямой):

$$\frac{r_{\lambda} t_{\text{I}}}{2} = \frac{Q_0 u_{\max}}{g},$$

$$t_{\text{I}} = \frac{2Q_0 u_{\max}}{g r_{\lambda}}.$$

2. Продолжительность второго периода определяется по закону равномерного движения:

$$t_{\text{II}} = \frac{\rho - \rho_0}{u_{\max}}.$$

3. Продолжительность третьего периода определяется по средней силе:

$$t_{\text{III}} = \frac{2Q_0 u_{\max}}{g\,(r_0 + r_{\text{III}\rho})}.$$

Общая продолжительность наката определяется как сумма времен наката в первом, втором и третьем периодах:

$$t_{\text{нак}} = t_{\text{I}} + t_{\text{II}} + t_{\text{III}} = \frac{2Q_0 u_{\max}}{g r_{\lambda}} + \frac{\rho - \rho_0}{u_{\max}} + \frac{2Q_0 u_{\max}}{g\,(r_0 + r_{\text{III}\rho})}.$$

При расчете тормоза наката обычно берут $\varphi = 0°$, при этом $Q_0 \sin\varphi = 0$. Это упрощает расчетные формулы.

Схема для полевых систем с двумя периодами наката; тормоза отката и наката работают после выбора вакуума (рис. 130)

В этом случае в первом периоде, продолжающемся в течение всего выбора вакуума, принимают $\Phi' = 0$.

Во втором периоде r принимают, исходя из условий устойчивости, уменьшающимся от $r_{\text{II}\rho}$ до $r_{\text{II}\,0}$ по закону прямой линии. Эта схема относится к системам, указанным на рис. 103—105 и 134.

Связь между величинами должна быть (по закону связи работ и живых сил) следующей:

$$\frac{r_\lambda + r_{\text{I}\rho}}{2}\rho = \frac{Q_0 u_{\max}^2}{2g} = \frac{r_{\text{II}\rho} + r_{\text{II}\,0}}{2}(\lambda - \rho)$$

работа разгона	=	живая сила наката в конце разгона	=	работа торможения

Схема сил в данном случае (рис. 130) аналогична схеме сил для особого случая вполне устойчивых орудий (см. рис. 127).

Для золотникового тормоза (рис. 105) $\Phi'_0 = 0$.

Особенностью тормоза 122-*мм* гаубицы (рис. 134) является то, что полное гидравлическое сопротивление тормоза во время наката Φ' равно сопротивлению тормоза наката, а тормоз отката (веретенного типа) не работает.

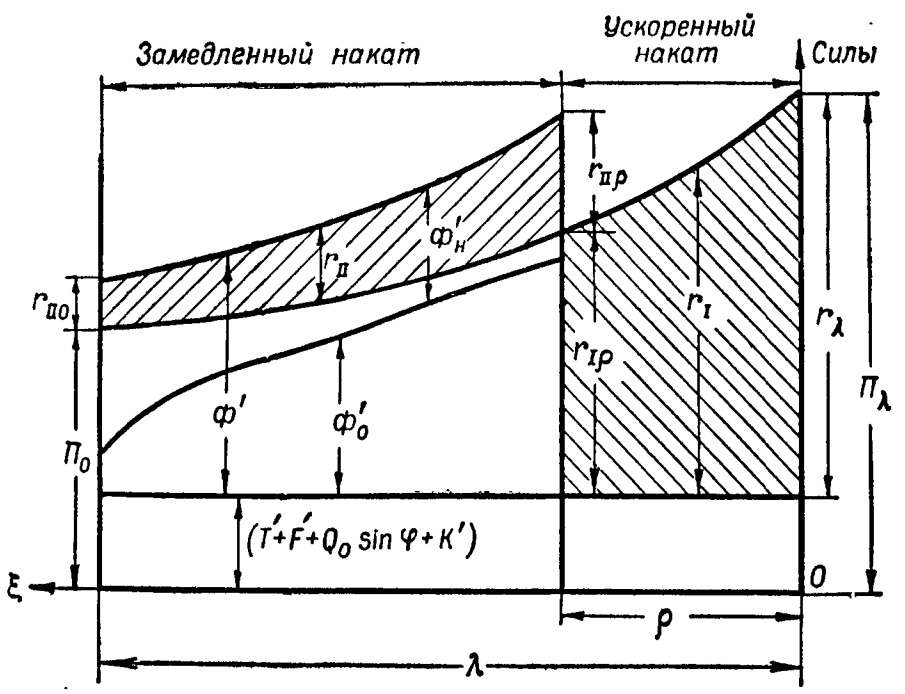


Рис. 130. Схема сил, действующих при накате на откатные части полевого орудия в случае отсутствия гидравлического торможения до выбора вакуума в тормозе отката

В тормозе наката 122-*мм* гаубицы обр. 1938 г. регулировочными элементами являются:

а) канавки переменной глубины на внутренней поверхности цилиндра-тормоза; сопротивление пробрызгиванию жидкости через эти канавки ($\Phi'_к = \Phi'_0$) является основной частью сопротивления при накате Φ'; малые осевые отверстия в поршне следует считать частью отверстий канавочного устройства тормоза наката;

б) наклонные отверстия постоянной величины в веретене $a_в$, вызывающие сопротивление выходу жидкости из штока ($\Phi'_в = \Phi'_н$).

Обеспечение желаемого закона сопротивления при накате достигается путем расчета канавок по известным силе $r_п$ и ей соответствующей скорости в любой точке наката во втором периоде (u) и по вычисляемой величине $\Phi'_в = \frac{k\gamma \mathfrak{A}^3}{20ga_в^2} u^2$.

Все вычисления проводятся по известным уже формулам:

$$\Phi'_0 = \Phi'_к = \Phi' - \Phi'_в;$$

$$a'_н = \sqrt{\frac{k\gamma A_{тн}^3}{20g}} \cdot \sqrt{\frac{u^2}{\Phi'_к}},$$

где $$A_{тн} = \frac{\pi}{4}(D_п^2 - d_к^2).$$

Площадь сечения самих канавок $a_к$ на цилиндре определяется как разность между расчетной величиной $a'_н$ и площадью сечения осевых отверстий в поршне a_0:

$$a_к = a'_н - a_0.$$

§ 5. УЧЕТ СОПРОТИВЛЕНИЯ В НАКАТНИКЕ

Если вводится дополнительное торможение в накатнике при помощи клапана (как в 85-*мм* зенитной пушке), то необходимо считать Φ' состоящим из трех частей:

$$\Phi' = \Phi'_0 + \Phi'_{кл} + \Phi'_н,$$

где $\Phi'_{кл}$ — гидравлическое сопротивление в накатнике с клапаном.

Это сопротивление определяется по общей формуле (14т),

$$\Phi'_x = \frac{k\gamma A_x^3}{20ga_x^2} u^2,$$

которая для $\Phi'_{кл}$ примет вид

$$\Phi'_{кл} = \frac{k\gamma A_н^3}{20ga_{кл}^2} u^2,$$

где $a_{кл}$ — постоянное отверстие в клапане накатника;
$A_н$ — рабочая площадь поршня накатника.

Определив для данной скорости наката u величины Φ'_0 и $\Phi'_{кл}$, вычисляем значение силы тормоза наката

$$\Phi'_н = \Phi' - (\Phi'_0 + \Phi'_{кл}).$$

Весь остальной расчет остается таким же, как и расчет накатника без клапана.

§ 6. ПРОВЕРКА ШТОКА ТОРМОЗА НА ПРОЧНОСТЬ

Полый шток тормоза проверяется на наибольшее внутреннее давление в штоке при откате p_{max} или при накате p'_{max}:

$$p_{max} = \frac{\Phi_{0,\,max}}{A_т} \text{ или } p'_{max} = \frac{\Phi'_{н,\,max}}{A_{тн}};$$

для тормоза веретенного типа

$$p_{max} = \frac{\Phi_{max}}{A_т - A_к},$$

где

$$A_т = \frac{\pi}{4}(D_п^2 - d_ш^2) \text{ и } A_к = \frac{\pi}{4} d_к^2.$$

У некоторых тяжелых орудий давление p_{max} бывает более 500 *кг/см²*.

Расчетная формула (по тангенциальной деформации), как для цилиндра-моноблока,

$$E\varepsilon_{к,\,1} = \frac{2}{3} p_{max} \frac{2d_ш^2 + d_{1,\,к}^2}{d_ш^2 - d_{1,\,к}^2},$$

где $E\varepsilon_{к,1}$ — приведенные тангенциальные напряжения на внутренней поверхности канавок;
$d_ш$ — наружный диаметр штока;
$d_{1,к}$ — внутренний диаметр штока по наибольшей глубине канавок.

Запас прочности должен быть около 3:

$$\eta = \frac{\sigma_e}{E\varepsilon_{к,\,1}} \geqslant 3$$

Проверка веретена на продольный изгиб

Для проверки пользуются формулой Эйлера:

$$P_{кр} = 2{,}047 \frac{\pi^2}{l^2} EI,$$

где $P_{кр}$ — критическая осевая нагрузка (в *кг*) продольного изгиба, т. е. нагрузка, вызывающая остаточные деформации;

l — длина изгибаемого стержня (в *см*);

I — момент инерции сечения стержня (наименьшего сечения в $см^4$);

E — модуль упругости первого рода (в $кг/см^2$). Для стали $E = 2 \cdot 10^6$ $кг/см^2$.

Момент инерции I круглого сечения веретена равен

$$I_0 = \frac{\pi \delta_{min}^4}{64}.$$

Запас прочности $\left[\frac{P_{кр}}{(\Phi'_н)_{max}}\right]$ должен быть не менее 5 (от 5 до 10), т. е. наибольшая фактическая осевая сила, сжимающая шток, должна быть менее $P_{кр}$ в 5—10 раз.

ГЛАВА X

ЖИДКОСТИ ДЛЯ НАПОЛНЕНИЯ ПРОТИВООТКАТНЫХ УСТРОЙСТВ. УПЛОТНИТЕЛЬНЫЕ И САЛЬНИКОВЫЕ УСТРОЙСТВА. ПРОВЕРКА ПРОТИВООТКАТНЫХ УСТРОЙСТВ

§ 1. ЖИДКОСТИ ДЛЯ НАПОЛНЕНИЯ ПРОТИВООТКАТНЫХ УСТРОЙСТВ (ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ТОРМОЗОВ И ГИДРОПНЕВМАТИЧЕСКИХ НАКАТНИКОВ)

Основные требования, предъявляемые к жидкостям

1. Жидкости должны обеспечивать безотказную работу противооткатных устройств при различных колебаниях температуры жидкости (от —60° до +150° С) и давления (от 0 до 500 *атм*).

2. Жидкости должны сохранять свой состав и свойства при быстром изменении температуры и давления. Они не должны самовоспламеняться или взрываться от нагрева, сотрясений и ударов.

3. Температуру начала застывания желательно иметь около —60° (даже ниже), а температуру кипения возможно выше 100°.

4. Жидкости должны быть совершенно нейтральными по отношению к металлам, коже, резине, хлопчатобумажной и пеньковой набивке даже при попадании в эти жидкости небольших количеств воды.

5. Жидкости не должны проникать сквозь воротниковые и уплотнительные устройства.

6. Вязкость жидкостей должна мало меняться с изменением температуры и давления.

7. Коэффициент температурного расширения жидкости должен быть как можно меньше, а теплоемкость как можно больше.

8. Жидкости при хранении в банках, бутылях, бочках, в орудийных тормозах и накатниках годами должны сохранять

свои свойства, не вступая в химическую реакцию с воздухом, тарой, металлом, уплотнениями.

9. Жидкости должны иметь отечественную сырьевую базу.

На сегодня еще нет жидкости, полностью удовлетворяющей всем поставленным требованиям. Наиболее совершенной жидкостью для противооткатных устройств является наша отечественная жидкость стеол М.

Состав жидкостей

№ по пор.	Наименование составляющих элементов жидкости	Состав и показатели свойств жидкости		
		Стеол ТУ № 3016 1942 г.	Стеол М ТУ № 3049 1942 г.	Веретенное масло АУ ГОСТ 1642 1942 г.
		Состав в весовых процентах		
1	Глицерин чистый 100% . .	57,7	46,3	Изготовляется из отборных нефтей
2	Этиловый (винный) спирт	—	20,0	Никаких примесей не имеет
3	Хромовокислый калий . .	2,0	1,6	
4	Едкий натр	0,13	0,1	
5	Вода	40,17	32,0	

Свойства жидкостей

Наименование свойств	Стеол	Стеол М	Веретенное масло АУ
Удельный вес при + 15° С	1,164—1,176	1,09—1,11	0,888—0,896
Температура застывания	—35° С начало выделения кристаллов льда	ниже —57° С	—45° С
Температура кипения	110°—112° С	89°—92°С	350° С
Теплоемкость при 20° С	0,75 *ккал/кг*	0,70 *ккал/кг*	0,44 *ккал/кг*
Температурный коэффициент объемного расширения на 1° С	0,00055	0,00065	0,00069
Вязкость абсолютная:	Примечание. Вязкость химически чистой воды при +20° С равна 0,01 пуаза		
при —30° С	3,50 пуаза	3,89 пуаза	48,82 пуаза
—20° С	1,24 „	1,443 „	11,53 „
—10° С	0,553 „	0,661 „	3,85 „
0° С	0,267 „	0,297 „	1,650 „
+20° С	0,103 „	0,109 „	0,400 „
+50° С	0,037 „	0,037 „	0,106 „
+80° С	0,020 „	0,019 „	0,048 „

В настоящее время стеол без спирта в артиллерии Советской Армии не применяется.

Примечания: 1. Вязкостью называется свойство жидкостей оказывать сопротивление при перемещении одной части жидкости относительно другой. Пуаз — единица вязкости, показывающая связь между скоростями относительного движения слоев жидкости и величиной сопротивления при этом движении. Сопротивление прямо пропорционально коэффициенту вязкости, выраженному в пуазах. Следовательно, гидравлическое сопротивление, вызываемое вязкостью, зависит от степени перемешивания слоев и от относительной скорости слоев и прямо пропорционально коэффициенту вязкости.

2. Стеол М получают, смешав 2,5 объема стеола и 1 объем этилового спирта. Стеол М годен для применения в противооткатных устройствах в любое время года. Поэтому с 1942 г. вместо стеола (всюду, где он ранее применялся) применяют только стеол М.

Для приготовления стеола М требуется глицерин по ОСТ 533 1940 г. марок: «химически чистый», «динамитный», «дистиллированный» (1-го сорта повышенного качества). В войска стеол М поступает в готовом виде в специальных запломбированных банках.

В глицериновой жидкости кожа воротников набухает.

Когда нет больших морозов, стеол и стеол М в противооткатных устройствах ведут себя одинаково.

3. Веретенное масло значительно дешевле стеола и менее дефицитно. Свойства его хорошо изучены. Недостатком веретенного масла является то, что при морозах сильно возрастает его сопротивление.

Попадание в масло воды вызывает коррозию металлов, поэтому необходимо тщательно беречь масло от проникновения в него воды. При заполнении противооткатных устройств веретенным маслом необходимо систематически проверять, не попала ли вода из атмосферы в масло.

Другим большим недостатком веретенного масла является то, что оно фильтруется через кожаные воротники. Поэтому при использовании в противооткатных устройствах в качестве тормозной жидкости веретенного масла нельзя ставить кожаные воротники. С 1941 г. накатники с кожаными воротниками переведены на стеол.

§ 2. УПЛОТНИТЕЛЬНЫЕ И САЛЬНИКОВЫЕ УСТРОЙСТВА В ТОРМОЗАХ ОТКАТА И НАКАТНИКАХ

Уплотнительные и сальниковые устройства тормозов отката и накатников должны надежно запирать жидкость, исключая возможность вытекания ее наружу[1] (рис. 131—135).

Основным элементом, непосредственно запирающим выход жидкости, является воротник из пластичной или упругой легко деформируемой массы (кожа, резина, искусственная упругая пластмасса).

Воротник делается в форме кольца с подковообразным поперечным сечением стенок. Воротники либо надеваются на поршень (в накатниках), либо вставляются в корпуса сальников.

[1] Зазоры между деталями, не имеющими относительного перемещения (цилиндр и его дно или крышка и т. п.), надежно уплотняются пластичными металлическими кольцами. Наиболее широко применяются медные уплотнительные кольца.

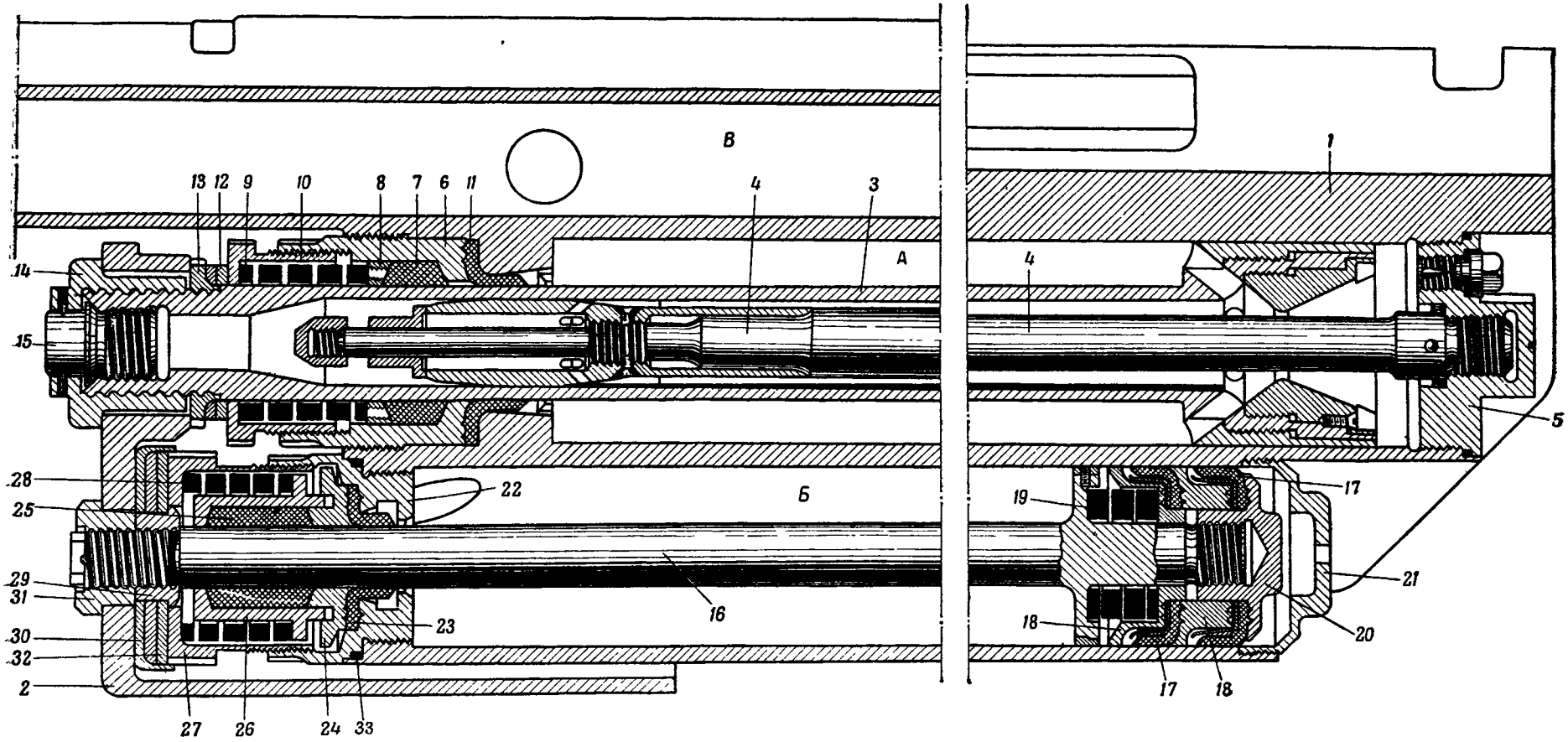


Рис. 131. Разрез противооткатных устройств 122-*мм* гаубицы обр. 1910/30 г.:

1 — салазки с цилиндрическими каналами для тормоза отката (*А*) и для накатника (*Б* и *В*); *2* — люлька; *3* — шток тормоза с поршнем (на поршне рубашка, а внутри — регулирующее кольцо); *4* — веретено с модераторным устройством; *5* — крышка цилиндра тормоза с пробкой; *6* — корпус сальника; *7* — набивка сальника; *8* — нажимное кольцо; *9* — пружина сальника; *10* — крышка сальника; *11* — воротник сальника; *12* — буферное кольцо; *13* — контргайка штока тормоза; *14* — крепительная гайка штока тормоза; *15* — пробка; *16* — шток с поршнем накатника; *17* — воротник; *18* — подворотниковое кольцо; *19* — пружина; *20* — нажимная гайка; *21* — задняя крышка цилиндра накатника; *22* — корпус сальника накатника; *23* — воротник сальника; *24* — нажимное кольцо; *25* — набивка сальника; *26* — нажимная втулка; *27* — крышка сальника; *28* — пружина сальника; *29* — контргайка; *30* — опорная шайба; *31* — крепительная гайка штока накатника; *32* — буферное кольцо; *33* — медное кольцо

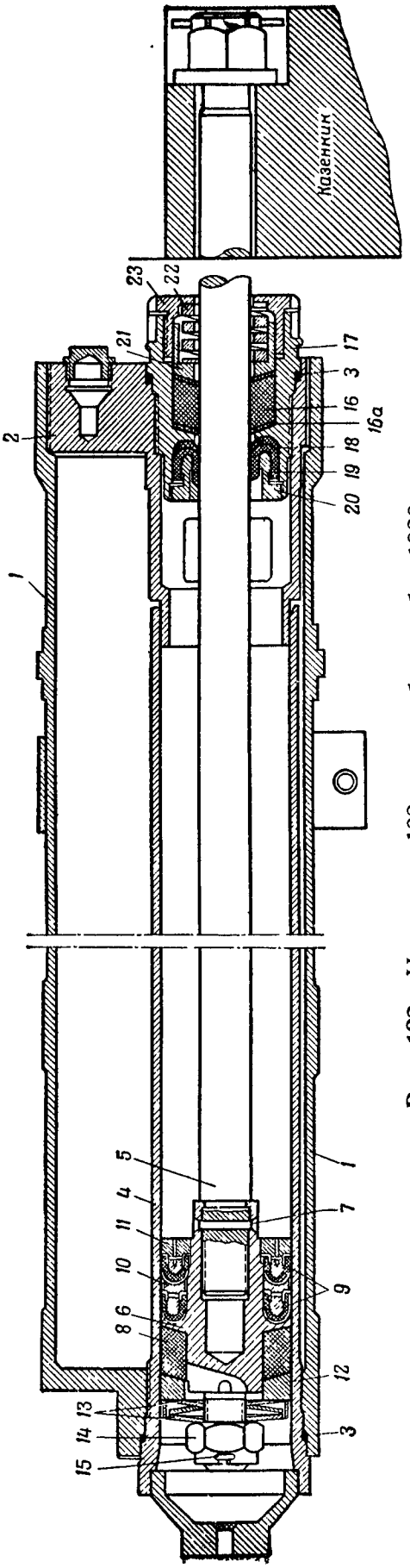


Рис. 132. Накатник 122-*мм* гаубицы обр. 1938 г.:
1 — наружный цилиндр; *2* — заднее дно; *3* — уплотняющее кольцо; *4* — внутренний цилиндр; *5* — шток накатника; *6* — корпус поршня; *7* — штифт; *8* — сальник поршня; *9* — воротник; *10* — подворотниковое кольцо; *11* — подворотниковое кольцо; *12* — нажимная втулка; *13* — тарельчатая пружина; *14* — гайка; *15* — шплинт; *16* — сальник; *16а* — кожаное кольцо; *17* — корпус сальника; *18* — воротник; *19* — воротник; *20* — подворотниковое кольцо; *21* — нажимная втулка; *22* — пружина; *23* — гайка сальника

Воротники должны ставиться открытой частью навстречу жидкости, стремящейся выйти из запираемой части цилиндра. Жидкость, давя на воротники, стремится раскрыть их и плотно прижимает к поверхностям обтюрации (закупорки).

Для полной обтюрации воротники ставят в два ряда. Давление жидкости на второй ряд (удаленный от жидкости) будет значительно меньше, чем на первый. Для сохранения формы воротники надеваются на подворотниковые кольца. Подворотниковые кольца имеют отверстия для подвода жидкости к воротникам, чтобы на них передавалось давление.

На воротники надевают надворотниковые кольца, имеющие кольцевые углубления для плотного прилегания к наружным выпуклым поверхностям воротников. Вместо надворотниковых колец могут быть сделаны выступы на корпусе поршня или сальника.

Воротники штампуются из кожаных колец толщиной 3—4 *мм*. Края воротников срезаны под углом 45°.

Воротники должны быть предварительно поджаты так, чтобы их наружные поверхности плотно прилегали к поверхностям обтюрации.

Это необходимо для запирания доступа жидкости к поверхности обтюрации. Большого поджатия не требуется. В сальниках, кроме воротникового устройства, имеется еще уплотнительное устройство (сальниковая набивка).

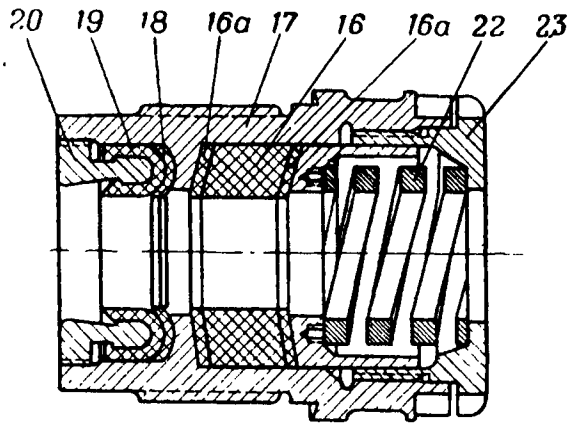


Рис. 133. Сальниковое устройство накатника 122-*мм* гаубицы обр. 1938 г. Нумерация деталей общая с рис. 132

Назначение сальниковой набивки:

1. Предохранить противооткатные устройства от проникновения в них посторонних тел при накате (пыли, грязи, влаги).

2. Не допускать выноса на штоках из цилиндров противооткатных устройств жидкости, проникшей через воротники (обтирать штоки).

3. Смазывать трущуюся поверхность штока для уменьшения трения, с этой целью сальниковая набивка пропитывается специальным жировым составом.

Сальниковую набивку прессуют под давлением, которое выше рабочего давления в противооткатных устройствах, чтобы она не деформировалась при стрельбе.

При сборке сальниковую набивку необходимо обязательно поджимать при помощи сальниковой гайки с пружиной. Роль пружины — сохранять поджатие набивки в случае уменьшения ее толщины за счет выплавки части сала и износа набивки. При отсутствии пружин требуется более частая регулировка поджатия набивки путем вращения гайки.

В настоящее время считается, что наиболее хорошо и устойчиво работает асбестовая набивка, пропитанная жировым сплавом, состоящим из 75% церезина, 15% вазелина и 10% масляной композиции коллоидального графита [1].

Общие основные требования, предъявляемые к воротникам и сальниковым набивкам:

1. Надежно запирать жидкость при колебании температуры от —60° С до +100° С (желательно до +200° С) и давления от 1 до 500 *атм*.

2. Сохранять свои свойства в течение долгого времени, находясь в соприкосновении с жидкостями в противооткатных устройствах, с воздухом, с влагой, при хранении в сухом или сыром месте.

---

[1] Жировой состав передает давление поджатия сальника по всей набивке, чем обеспечивается хорошее прилегание набивки к соседним стенкам и надежное действие ее.

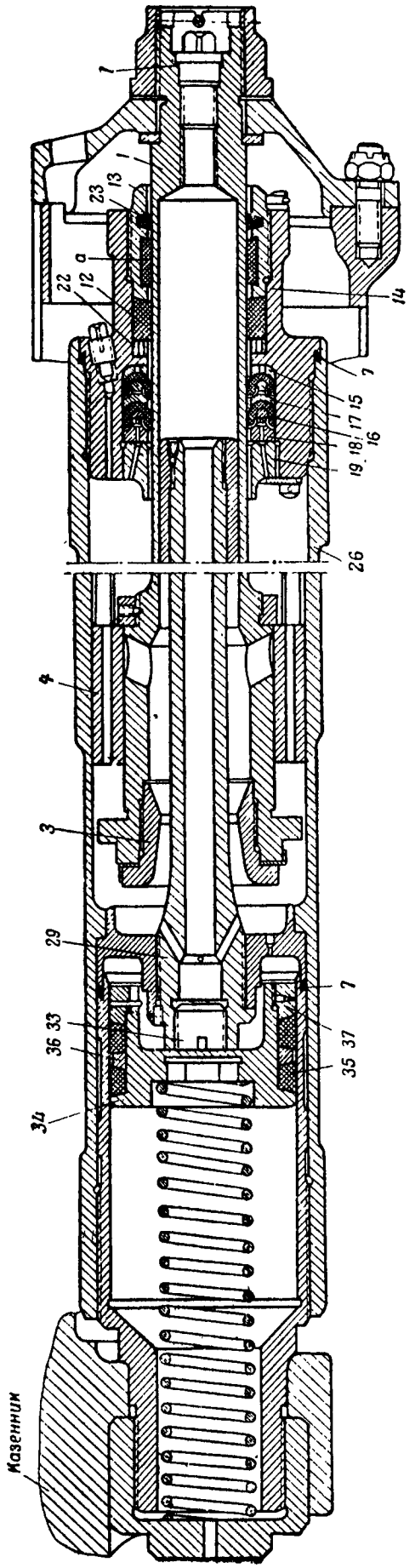


Рис. 134. Тормоз отката 122-*мм* гаубицы обр. 1938 г.:
1 — шток; *3* — регулирующее кольцо; *4* — поршень; *7* — уплотняющее кольцо; *12* — сальниковая набивка; *13* — гайка сальника; *14* — корпус сальника; *15* — опорное кольцо; *16* — воротник; *17* и *18* — подворотниковые кольца; *19* — гайка; *22* — опорное кольцо; *23* — войлочная набивка; *26* — цилиндр тормоза; *29* — контршток; *33* — заделка; *34* — поршень; *35* — сальниковая набивка; *36* — прокладное кольцо; *37* — гайка; *а* — баббитовое кольцо

3. Не вызывать коррозии металлов и порчи жидкостей в противооткатных устройствах.

4. Обладать малым коэффициентом трения по стали, не царапать поверхности штоков и цилиндров.

Воротники и сальниковые набивки должны изготовляться из отечественного недефицитного сырья. Конструкция их должна быть простой для производства и удобной для эксплуатации (разборка, сборка, регулировка).

Сальники должны иметь воротниковое устройство, сальниковую набивку, нажимные устройства. Воротники могут не иметь своего особого нажимного устройства.

Нажимное устройство набивки должно иметь пружину, передающую давление на набивку, в противном случае требуется более частое регулирование (поджатие сальниковой набивки за счет поджима гайки). Набивка при наличии давления плотно прилегает к стенкам сальника и поверхности штока, а жировая пропитка передает давление во все стороны, как жидкость.

Воротниковая часть сальника должна быть отделена от сальниковой набивки так, чтобы набивка не подвергалась большим нагрузкам от

давления жидкости. Давление в набивке благодаря действию нажимного устройства может быть до 10—20 *атм*.

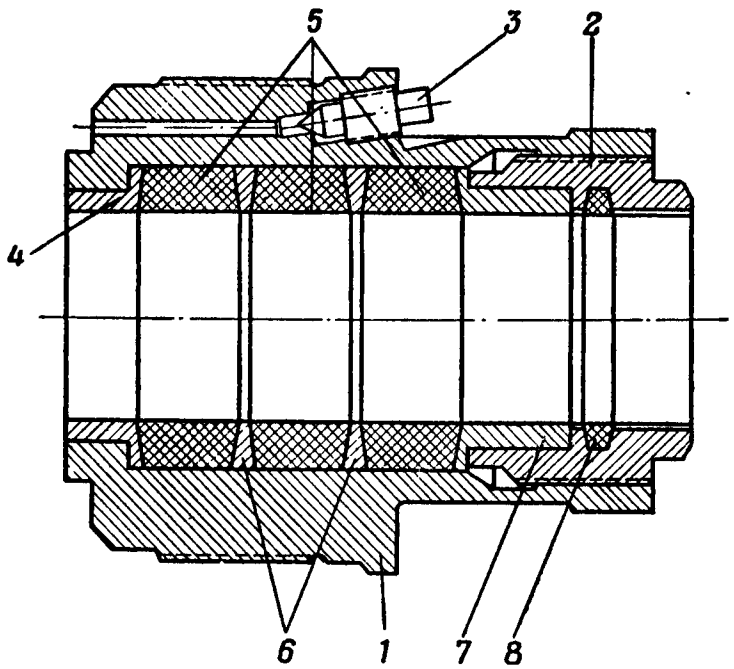


Рис. 135. Сальниковое устройство тормоза отката, не имеющее воротников, для 122-*мм* гаубицы обр. 1938 г.:

1 — корпус сальника; *2* — гайка сальника; *3* — вентиль; *4* — втулка; *5* — сальниковая набивка; *6* — кольца; *7* — втулка; *8* — войлочная набивка

§ 3. ПРОВЕРКА ГИДРОПНЕВМАТИЧЕСКИХ НАКАТНИКОВ И ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ТОРМОЗОВ

От состояния противооткатных устройств зависит движение ствола при откате и накате, величина силы сопротивления откату, напряжения в деталях лафета при стрельбе и устойчивость орудия при стрельбе. При неисправных противооткатных устройствах стрелять из орудия нельзя.

Для нормальной работы противооткатных устройств необходимо систематически проверять их состояние и устранять все замеченные неисправности.

Особо тщательно необходимо производить плановую полную разборку и сборку противооткатных устройств, устраняя забоины, царапины на поверхностях сопряжения подвижных и резьбовых соединений. Сборку производить только согласно указаниям руководств службы и руководств по ремонту. Все резьбовые соединения должны быть надежно зафиксированы. Жидкости для заполнения тормозов и накатников должны быть абсолютно чистыми и не должны иметь никаких посторонних примесей.

Сборка должна вестись в закрытом помещении, исключающем возможность попадания пыли в жидкость и на детали в процессе сборки.

Особое внимание должно уделяться соответствию жидкостей своему назначению, качеству их и правилам обращения с ними, указанными в Руководствах службы и Инструкциях. Не допускать смешивания жидкостей из тормоза отката и накатника, попадания в жидкость пыли, грязи, воды или каких-либо примесей. Герметически закупоривать сосуды, в которых хранится жидкость.

Поджатие сальниковой набивки и воротников должно исключать течь жидкости через них и не вызывать чрезмерного сопротивления при движении штоков (или цилиндров).

При поджатии сальниковой набивки гайки завинчивать стандартным ключом, не применяя больших усилий.

При внешнем осмотре противооткатных устройств проверять крепление всех деталей соединения откатных частей с неподвижными и проверять, нет ли течи жидкости.

Необходимо систематически проверять количество и качество жидкости в тормозе отката, количество и качество жидкости и давление воздуха или азота в гидропневматическом накатнике. В случае недостатка (излишка) жидкости или воздуха добавить (убавить) жидкости или воздуха до нормы.

Для проверки и наполнения (или удаления излишка) жидкости в тормозе отката имеются специальные отверстия, закрываемые ввинтными пробками.

У большинства тормозов отката имеется только одно отверстие для наполнения жидкостью и для выпуска ее излишка. При верхнем расположении отверстия излишек жидкости удаляется при помощи шприца. Полное удаление жидкости из тормоза, имеющего одно отверстие (верхнее или осевое), возможно при полной разборке тормоза или при вывинчивании гайки сальника.

Для надежного запирания отверстия ввинтной пробкой следует ставить под опорную поверхность пробки кольцо из мягкого металла (медь, свинец и т. п.).

Места расположения отверстий для проверки и заполнения тормозов должны обеспечивать наилучшие условия для работы, гарантировать точность проверки и полноту наполнения цилиндра и полости штока.

При добавлении жидкости в тормоз отката нужно следить за тем, чтобы в цилиндре не оставался воздух. Для выпуска воздуха из цилиндра во время добавления жидкости в некоторых тормозах имеются специальные отверстия, закрываемые пробками (152-*мм* гаубицы-пушки), а у большинства тормозов диаметр наливного отверстия делается значительно больше диаметра воронки или шприца, используемых для добавления жидкости.

В этом случае при добавлении жидкости шприц или воронка не закрывает полностью наливное отверстие.

При добавлении жидкости в тормоз отката некоторых систем (85-*мм* танковая пушка без компенсатора) приходится делать искусственный откат, чтобы обеспечить полное наполнение замодераторного пространства, а также и всего объема цилиндра.

В тормозах без компенсатора необходимо сначала полностью наполнить жидкостью цилиндр (при этом ствол должен находиться в крайнем переднем положении), а затем удалить небольшое количество жидкости (обычно 0,2—0,5 *л*), чтобы жидкость могла свободно расширяться при стрельбе.

В тормозах с компенсатором цилиндры наполняются жидкостью полностью, а в компенсаторах оставляется свободный объем для выхода излишка жидкости из цилиндра при стрельбе.

Для проверки и наполнения накатники имеют одно или два отверстия, закрываемые специальными вентилями или клапанами. Все отверстия располагаются так, чтобы при нормальных условиях к ним не подходил воздух, находящийся в накатнике.

В накатниках большинства отечественных систем имеется одно отверстие, закрываемое вентилем, через которое наполняют и удаляют воздух и жидкость.

У некоторых систем для проверки количества жидкости в накатнике имеется отдельное отверстие.

Для проверки количества жидкости в накатниках у большинства наших орудий производится искусственный откат на определенную длину, при этом измеряется давление в накатнике до отката и в конце отката.

Затем по двум отсчетам по специальному графику определяют количество жидкости.

Тормоза отката некоторых орудий имеют особые механизмы, постоянно показывающие объем жидкости.

§ 4. О КОЛИЧЕСТВЕ ЖИДКОСТИ В ТОРМОЗЕ ОТКАТА

Для обеспечения нормальной работы тормоза отката в условиях интенсивной стрельбы необходимо определять количество жидкости, исходя из теплового расчета тормоза отката.

Исходными данными для теплового расчета тормоза являются:

R — среднее значение силы сопротивления откату;

λ — путь отката;

$C_ж$ — средняя теплоемкость жидкости;

$Q_ж$ — вес жидкости, минимально необходимой для обеспечения интенсивной стрельбы;

ΔT — допускаемое повышение температуры;

n — число выстрелов при интенсивной стрельбе;

K_t — коэффициент распределения теплоты между жидкостью и деталями противооткатных устройств;

E — механический эквивалент тепла; $E = 427 \frac{кгм}{ккал}$.

Основная формула для расчета:

$$Q_ж = \frac{K_t R \lambda n}{E C_ж \Delta T}.$$

Коэффициент K_t учитывает распределение теплоты, в которую превращается энергия отката.

Ориентировочно можно принимать:

$K_t = 0{,}8$ для автоматических систем;

$K_t = 0{,}6$ для полевых неавтоматических систем;

$C_ж = 0{,}44 \frac{ккал}{кг}$ для веретенного масла;

$C_ж = 0{,}70 \frac{ккал}{кг}$ для глицериновых смесей;

$\Delta T = 50°$ С по отношению к летним условиям для стеола М;

$\Delta T = 100°$—$150°$ С для веретенного масла.

Пример. Дано: $R = 20000$ *кг*; $K_t = 0{,}6$; $\lambda = 1$ *м*; $n = 30$. Жидкость — веретенное масло, $\Delta T = 100°$ С.

Определить $Q_ж$.

Решение.

$$Q_ж = \frac{0{,}6 \cdot 20000 \cdot 1 \cdot 30}{427 \cdot 0{,}44 \cdot 100} \approx 18 \text{ кг}.$$

§ 5. О РАБОТЕ ПРОТИВООТКАТНЫХ УСТРОЙСТВ ПРИ НЕПРАВИЛЬНОМ НАПОЛНЕНИИ ТОРМОЗА ОТКАТА ЖИДКОСТЬЮ

1. В тормозе отката недостает жидкости. На начальном участке отката тормоз не будет тормозить откатные части. Возрастет скорость отката к моменту начала работы тормоза. Скорость отката сильно увеличится. Резко возрастет гидравлическое сопротивление Φ. Возможно нарушение устойчивости орудия и появление неплавного отката с ударами в конце отката, приводящими иногда к порче деталей противооткатных устройств (штоки тормоза и накатника, гайки штоков, сальниковые устройства).

Накат также будет происходить ненормально. Тормоз отката позже будет включаться в работу, возможна потеря устойчивости орудия и удары в конце наката. Орудие может выйти из строя в результате поломки деталей тормоза отката.

2. В тормозе отката не оставлено свободного объема, обеспечивающего расширение жидкости. До начала стрельбы при нагреве солнцем жид-

кость, расширяясь, может вытолкнуть шток из цилиндра на небольшую длину. Произойдет незначительный откат. При стрельбе недокат будет непрерывно нарастать. Недокаты могут явиться причиной, исключающей возможность нормального спуска ударника и нарушающей работу тормоза отката.

§ 6. ГРАФИК ДЛЯ ПРОВЕРКИ КОЛИЧЕСТВА ЖИДКОСТИ В НАКАТНИКЕ

При построении графика (рис. 136) допускают, что температура воздуха в накатнике при проверке в нем количества жидкости не изменяется, так как скорость искусственного от-

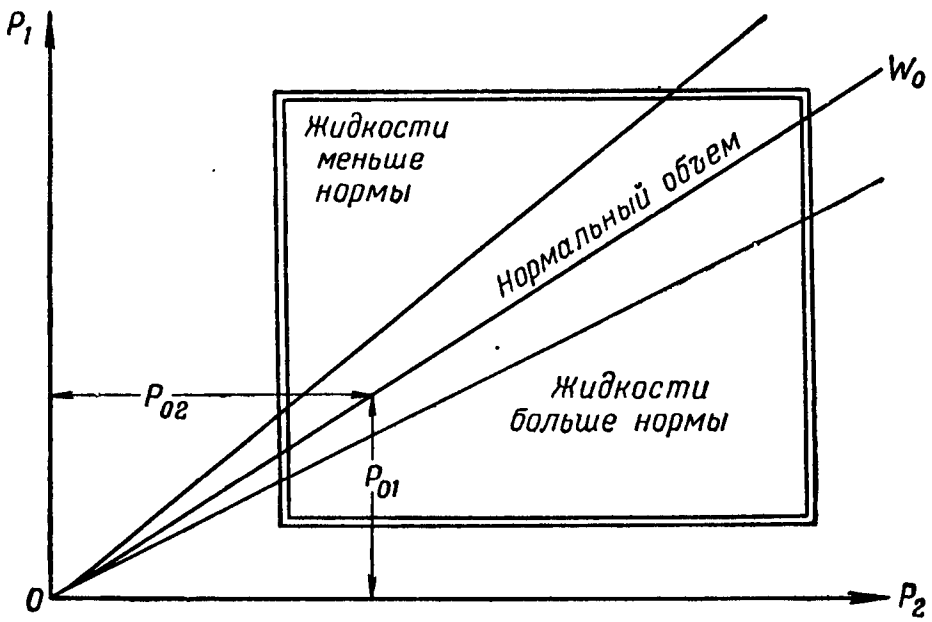


Рис. 136. Схема построения графика для проверки количества жидкости в гидропневматическом накатнике

ката мала. Обозначив через p_1 и W_1 давление и объем воздуха в накатнике в начале отката, а через p_2 и W_2 давление и объем воздуха в накатнике в конце отката, получим

$$p_1 W_1 = p_2 W_2$$

или

$$p_2 = p_1 \frac{W_1}{W_2}.$$

При откате в процессе проверки количества жидкости в накатнике объем воздуха меняется на определенную величину ΔW.

$$\Delta W = A_н \lambda_и,$$

где $\lambda_и$ — длина искусственного отката.

Задаваясь значением объема жидкости, а следовательно, и объемом воздуха W_1 и зная величину ΔW, определяют объем воздуха в накатнике в конце отката:

$$W_2 = W_1 - \Delta W,$$

затем, задаваясь давлением p_1, определяют p_2.

Основное уравнение для p_2 изображается на плоскости прямой линией, проходящей через начало координат.

Для построения этой прямой достаточно иметь одну пару значений давлений p_1 и p_2.

По одной оси координат откладывают значения величин p_1, а по другой оси — p_2.

Обычно на графике строят только три прямых $p_2 = p_1 \frac{W_1}{W_2}$ для трех значений W_1, соответствующих нормальному, наименьшему допустимому и наибольшему допустимому объемам жидкости в накатнике.

Из всего графика выделяют только ту часть, в пределах которой практически могут колебаться объем жидкости и давление воздуха. Необходимо отметить, что все прямые линии на графике изображаются в виде расходящихся лучей.

На графиках, прикрепляемых к лафетам орудий, а также даваемых в Руководствах службы, лучевые линии расходятся от правого верхнего угла к левому нижнему углу графика, т. е. при построении этих графиков начало координат принимается в верхнем правом углу.

ГЛАВА XI

ОСОБЫЕ ВИДЫ АРТИЛЛЕРИЙСКИХ ОРУДИЙ

§ 1. СИСТЕМЫ С ДВОЙНЫМ ОТКАТОМ (С РАЗЛОЖЕНИЕМ ОТКАТА)

При неизменном количестве движения отката $\left(\frac{Q_0}{g} W_{max}\right)$ энергию отката можно уменьшить путем увеличения веса откатных частей, так как

$$W_{max} = \frac{q + \beta\omega}{Q_0} v_0,$$

а энергия отката пропорциональна W^2_{max}.

Одним из вариантов этого решения является применение орудий с так называемым двойным откатом или с разложением отката (рис. 137). У подобных орудий ствол откатывается по люльке, как у всех орудий, на величину λ_1; кроме того, люлька со стволом и верхним станком имеет возмож-

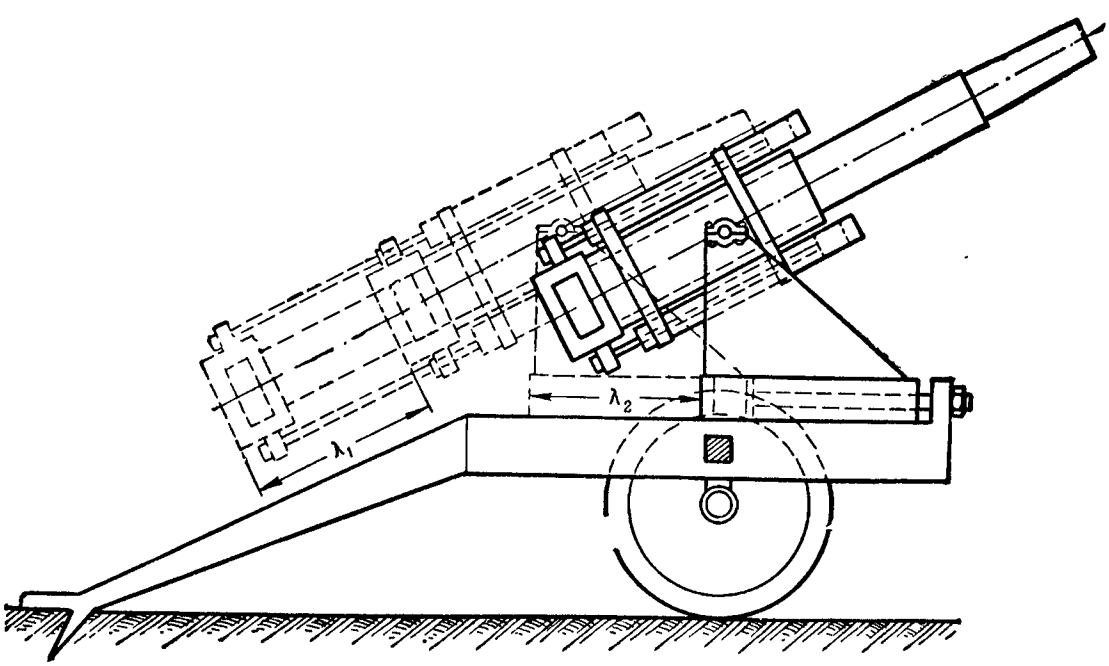


Рис. 137. Система с двойным откатом

ность откатываться вдоль нижнего станка примерно на такую же величину — λ_2.

Следовательно, у систем с двойным откатом в откате участвуют большие массы и ствол имеет возможность откатываться на величину примерно вдвое большую, чем у обычных систем. Все это обеспечивает хорошую устойчивость при выстреле при сравнительно небольшом боевом весе, но требует значительного усложнения систем (два противооткатных устройства — для ствола и верхнего станка).

Использование двойного отката выгодно в мощных системах сравнительно небольшого веса для достижения устойчивости их при стрельбе.

§ 2. СИСТЕМЫ С ВЫКАТОМ

1. Принцип действия. Системой с выкатом называется орудие, у которого откатные части в момент начала выстрела имеют большую живую силу движения вперед (энер-

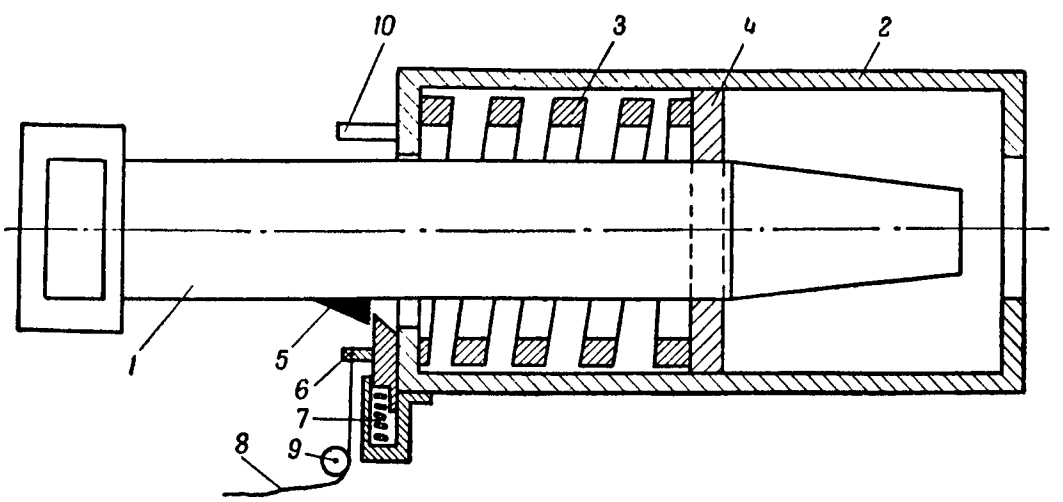


Рис. 138. Орудие с выкатом. Откатные части взведены.

1 — ствол; *2* — люлька; *3* — накатник пружинный; *4* — кольцо ствола (упорное кольцо для накатника и направляющее для откатных частей); *5* — стопорный зуб ствола; *6* — стопор откатных частей; *7* — пружина стопора; *8* — спусковой шнур (для спуска откатных частей); *9* — направляющий ролик для шнура; *10* — толкатель для поворота курка затвора в момент спуска ударника

гию выката), благодаря чему значительная часть работы силы $P_{кн}$ (действия газов на ствол) затрачивается на торможение откатных частей. Это приводит к значительному уменьшению энергии отката, которую должны поглотить противооткатные устройства орудия после выстрела. Наибольшая скорость движения откатных частей орудия с выкатом примерно вдвое меньше наибольшей скорости отката обычного орудия при одинаковых условиях заряжания и весах откатных частей.

2. Конструктивные особенности системы с выкатом. Перед выстрелом откатные части орудия нахо-

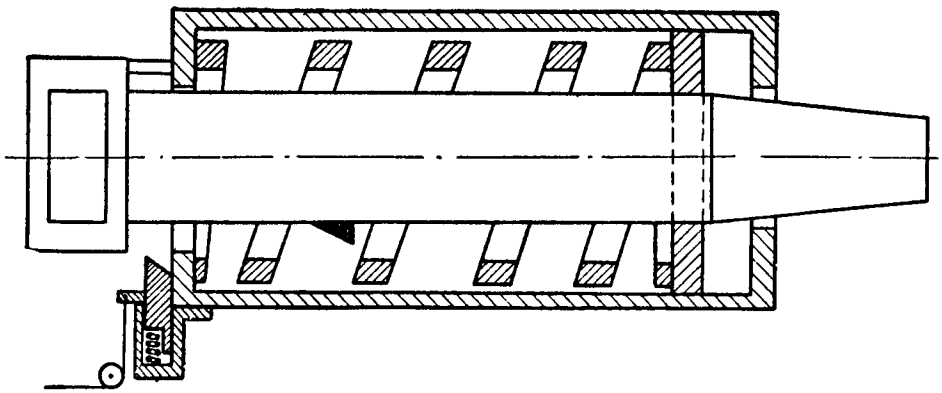


Рис. 139. Орудие с выкатом. Момент воспламенения заряда. Наибольшая скорость выката

дятся в крайнем заднем положении (положение, занимаемое в конце отката) и зафиксированы специальным стопором *6* (рис. 138).

Для производства выстрела откатные части спускаются со стопора, после чего накатник *3* толкает их вперед (происходит выкат). На последнем участке работы накатника по разгону откатных частей происходит автоматический спуск ударника и воспламенение заряда (рис. 139).

С начала движения снаряда сила $P_{кн}$ резко тормозит откатные части, а в дальнейшем сообщает им живую силу отката.

Откат тормозится накатником и тормозом отката (у некоторых орудий с выкатом тормоз отката отсутствует). После каждого выстрела откатные части остаются застопоренными в крайнем заднем положении (если орудие неавтоматиче-

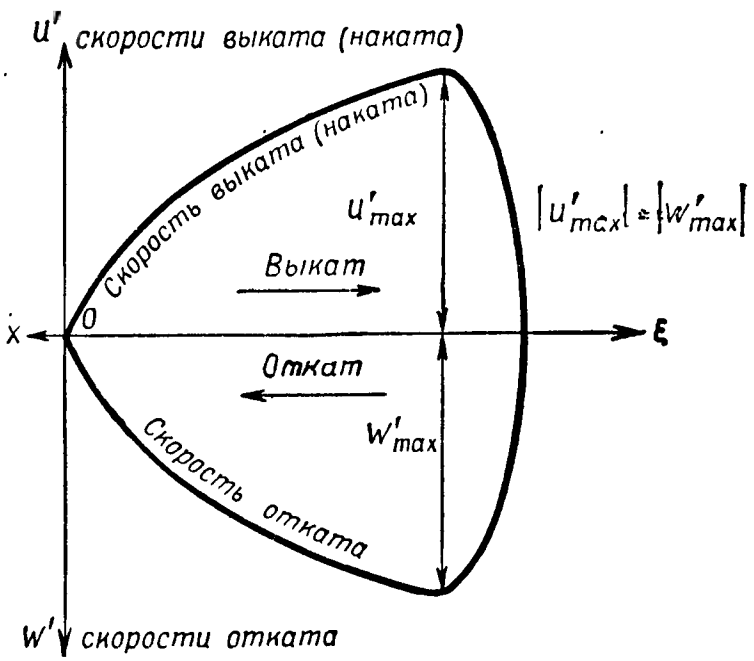


Рис. 140. Диаграмма скоростей выката и отката орудия с выкатом

ское). Как правило, накатники у орудий с выкатом пружинные.

Итак, у орудия с выкатом откатные части во время стрельбы вначале накатываются, а затем откатываются (рис. 140).

Сжатие накатника перед первым выстрелом производят вручную или при помощи какого-либо аккумулятора энергии (например, пневматического).

3. Преимущества систем с выкатом. К концу действия газов получается уменьшение энергии отката по сравнению с обычным орудием, так как сила $P_{кн}$ в начале своего действия тормозит накат, а затем уже сообщает движение откатным частям.

Предельное уменьшение энергии отката в системах с выкатом (при стрельбе под углом возвышения $\varphi = 0$ и при отсутствии сил трения) возможно до одной четверти от энергии отката обычных систем с одинаковыми баллистическими и весовыми характеристиками. На практике вполне реально обеспечивается уменьшение энергии отката вдвое.

Импульс силы $P_{кн}$ за все время выстрела для обеспечения нормальной работы орудия с выкатом должен быть распределен на части: для торможения выката; для аккумулирования энергии в накатнике для производства выката; для преодоления сил трения; для преодоления действия веса откатных частей.

Если пренебречь трением и силой тяжести, то для системы без гидравлического тормоза весь импульс силы $P_{кн}$ распределится на две части. Одна часть пойдет на торможение выката, а другая — на откат для сжатия накатника. Наибольшая скорость отката W'_{max} может быть определена по формуле

$$\frac{Q_0 u'_{max}}{g} = \frac{Q_0 W'_{max}}{g} = \frac{P_{кн,\,ср} t_к}{2} = \frac{Q_0 W_{max}}{2g},$$

откуда

$$W'_{max} = \frac{W_{max}}{2},$$

где W_{max} — наибольшая скорость свободного отката орудия без выката;

W'_{max} — наибольшая скорость отката в системе с выкатом;

u'_{max} — наибольшая скорость выката.

Энергии отката в системах с выкатом и без выката при одинаковых откатных массах прямо пропорциональны квадратам их скоростей:

$$\frac{E'_{отк}}{E_{отк}} = \frac{\frac{Q_0 W'^2_{max}}{2g}}{\frac{Q_0 W^2_{max}}{2g}} = \frac{W'^2_{max}}{W^2_{max}}.$$

Если

$$W'_{max} = 0{,}5\,W_{max},$$

то

$$\frac{E'_{отк}}{E_{отк}} = \frac{1}{4}.$$

Уменьшение энергии отката в системах с выкатом позволяет уменьшить длину отката или силу сопротивления откату, либо уменьшить вес системы в боевом положении.

Кроме того, использование принципа выката позволяет значительно повысить скорострельность автоматических пушек, так как у систем с выкатом средняя скорость отката и наката больше, чем у обычных орудий.

4. Основной недостаток системы с выкатом. При осечке вся энергия выката будет разрушающе действовать на лафет, если не сделать мощный тормоз-буфер.

При затяжном выстреле последует удар в конце наката и удар в конце отката, если не сделать два тормоза-буфера, действующих в конце отката и наката для поглощения большого количества энергии откатных частей.

Перед первым выстрелом требуется взвести мощный накатник (обычно пружинный), чтобы он затем мог совершить выкат. Для этого применяются пневматические или лебедочные механизмы. Необходимость иметь предохранительные буферы приводит к усложнению системы и увеличению ее веса.

§ 3. БЕЗОТКАТНЫЕ СИСТЕМЫ ТИПА ДРП (ПУШКИ ТРОФИМОВА)

Динамическо-реактивные пушки (ДРП) имеют в казенной части отверстие и длинный раструб — сопло (рис. 141). Гильзы для ДРП имеют отверстие в дне, закрываемое пробкой. Диаметр отверстия меньше калибра орудия. Во время выстрела при некотором давлении (примерно равном давлению форсирования) пробка в дне гильзы разрушается и газы начинают истекать назад. Истекающие газы сообщают снаряду и стволу реактивный толчок. Большой раструб способствует увеличению силы действия пороховых газов на ствол, направленной в сторону движения снаряда.

Сопло и горловина подбираются таких размеров, чтобы было примерное равенство между силами, толкающими ствол назад (от давления на горловину), и силами, толкающими ствол вперед (от давления на сопло и реакции ведущего пояска на ствол).

Давление на сопло p_c направлено по перпендикуляру к его поверхности и раскладывается на две части: параллельную оси ствола ($p_c \sin\beta$) и перпендикулярную ей ($p_c \cos\beta$).

Составляющая силы давления газов на сопло, параллельная оси, и есть сила, тормозящая откат.

Сила тормозящего действия газов ($R_{\text{сопла}}$), давящих на сопло, определяется по формуле

$$R_{\text{сопла}} = p_{\text{с, ср}} \cdot F_{\text{сопла}} \cdot \sin \beta,$$

или

$$R_{\text{сопла}} = p_{\text{с, ср}} \frac{\pi}{4} (d_{\text{б}}^2 - d_{\text{г}}^2),$$

где $p_{\text{с, ср}}$ — среднее давление газов для всей поверхности сопла;

$F_{\text{сопла}}$ — внутренняя поверхность сопла, на которую давят газы;

β — угол между образующей поверхности сопла и его осью;

$d_{\text{б}}$ — большой диаметр сопла;

$d_{\text{г}}$ — диаметр отверстия горловины.

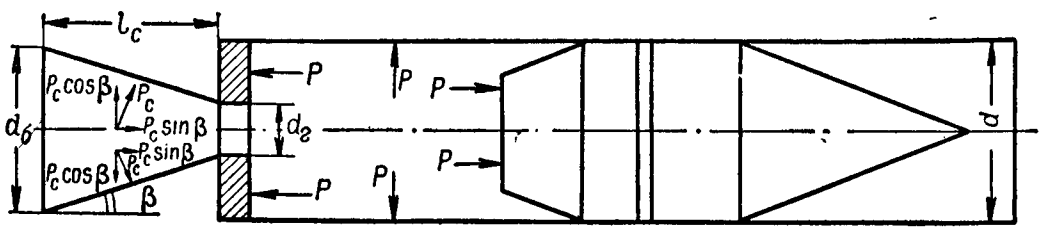


Рис. 141. Принципиальная схема системы динамическо-реактивной пушки (ДРП)

Угол β определяется по размерам сопла:

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{d_{\text{б}} - d_{\text{г}}}{2l_{\text{с}}}.$$

Ориентировочно наибольшее значение силы $R_{\text{сопла}}$ в зависимости от давления в канале ствола (при хорошей форме сопла) можно считать равным

$$R_{\text{сопла}} \leq 0{,}5 \frac{\pi d_{\text{г}}^2}{4} p.$$

Сила действия газов на горловину сопла, толкающая ствол назад, определяется из выражения

$$R_{\text{горл}} = pF_{\text{горл}},$$

где p — давление газов в канале ствола;

$F_{\text{горл}}$ — кольцевая площадь горловины, на которую действуют газы в направлении отката:

$$F_{\text{горл}} = \frac{\pi}{4} (d^2 - d_{\text{г}}^2).$$

Для обеспечения неподвижности ствола с соплом необходимо, чтобы алгебраическая сумма сил $R_{\text{сопла}}$, $R_{\text{горл}}$ и $R_{\text{пояска}}$ (реакция ведущего пояска снаряда на ствол по направлению, параллельному оси канала ствола) была равна нулю. Отсюда, учитывая, что сила $R_{\text{пояска}}$ направлена против отката, условие неподвижности ствола можно определить выражением

$$R_{\text{сопла}} + R_{\text{пояска}} = R_{\text{горл}}.$$

Сила $R_{\text{пояска}}$ для снарядов с ведущим пояском примерно равна $0{,}02\,P_{\text{кн}} = 0{,}02ps$.

Обеспечение требуемого равенства достигается путем подбора формы и размеров сопла, с одной стороны, и диаметра отверстия в горловине — с другой. Ориентировочно можно считать, что при хорошем сопле для уравновешивания действия газов и снаряда на ствол необходимо принять

$$d_{\text{г}} \approx 0{,}8d$$

Простейшим типом ДРП следует считать орудие без затвора, без горловины и без сопла. Ствол такой системы представляет собой одну трубу. Впервые такие орудия были изготовлены и испытаны в России в 1916 г. (в литературе они известны под названием пушек Рябушинского). В орудиях типа ДРП, как правило, боевой заряд полностью сгорает в канале ствола до вылета снаряда. Очевидно, что чем больше отверстие в горловине, тем меньше коэффициент использования заряда, но зато системы, представляющие собой простую открытую трубу, благодаря своей простоте и дешевизне оказались весьма выгодными для стрельбы на небольшие расстояния мощными кумулятивными минами по танкам, огневым точкам и другим целям, требующим мощного пробивного действия.

Пороховые газы, вылетающие назад, опасны для орудийного расчета; поэтому люди должны соблюдать меры предосторожности, указываемые в руководствах службы. С целью уменьшения опасного действия вылетающих газов предлагались системы с двумя симметричными боковыми газоотводами. На концах газоотводов, параллельных оси канала ствола, крепились сопла. Для полного уравновешивания действия газов на орудие сумма наименьших сечений обоих газоотводов должна равняться отверстию в горловине орудия без газоотводов.

С целью повышения коэффициента полезного действия заряда предлагались системы с отверстием диаметром меньше необходимого для полного уравновешивания действия газов на орудие. В этом случае орудие получает небольшой откат, для торможения которого необходимо применять противооткатные устройства.

Во время второй мировой войны безоткатные орудия типа ДРП с соплом и типа открытой трубы имели весьма широкое применение во многих армиях. В армии США безоткатные орудия и противотанковые средства борьбы и в настоящее время находятся в большом количестве. Безоткатные орудия армии США имеют ряд конструктивных особенностей:

1. Гильза имеет много круглых отверстий в стенках, а в дне отверстия нет.

2. В каморной части ствола имеются продольные канавки для истечения газов поверх гильзы.

3. В казеннике (в продолжение канавок в каморной части ствола) имеются отверстия для истечения газов наружу.

4. Затвор поршневой.

5. На ведущем пояске снаряда имеются углубления для исключения большого сопротивления движению в начале выстрела.

Очевидно, что безоткатные орудия армии США более сложные в производстве и в обращении.

Пехотные противотанковые безоткатные системы для стрельбы кумулятивными минами («базуки») однотипны с «открытыми трубами» бывшей немецкой армии.

ГЛАВА XII

ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О МЕХАНИЗМАХ НАВОДКИ ОРУДИЯ

§ 1. ТИПЫ МЕХАНИЗМОВ НАВОДКИ

Определение

Механизмами наводки орудия называются подъемный и поворотный механизмы, при помощи которых ствол перемещают во время наводки в вертикальной и горизонтальной плоскостях (рис. 142—146).

Каждый механизм обычно состоит из цепи кинематических пар передачи движения от ручного, механического, гидравлического или электрического привода к качающейся или вращающейся части орудия. Кинематическая пара представляет

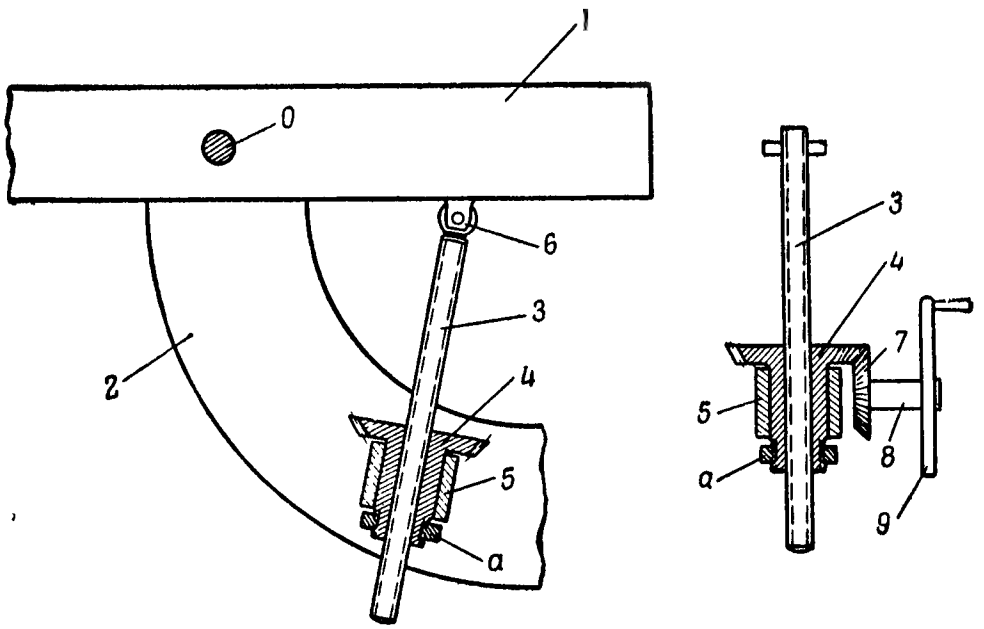


Рис. 142. Схема винтового подъемного механизма:

1 — качающаяся часть орудия; *2* — верхний станок; *3* — винт; *4* — матка с конической шестерней; *5* — втулка, удерживающая матку от продольного перемещения; *6* — шарнир; *7* — коническая шестерня; *8* — валик — ось для *7* и *9*; *9* — маховик; *a* — гайка; *O* — цапфа

собой две детали механизма, участвующие в передаче движения и имеющие возможность взаимно перемещаться. Основной парой передачи называется кинематическая пара, один из элементов которой жестко или шарнирно связан непосредственно с вращающейся или качающейся частью и имеет общую скорость вращения с данной частью орудия (например, сектор, прикрепленный к люльке или станку).

Механизмы наводки по конструкции основной пары передачи вращательного движения делятся на два типа:

I — винтовые (например, подъемный механизм 76-*мм* пушки обр. 1902/30 г., поворотный механизм 122-*мм* гаубицы обр. 1938 г. — рис. 142 и 143, механизмы наводки минометов — рис. 144).

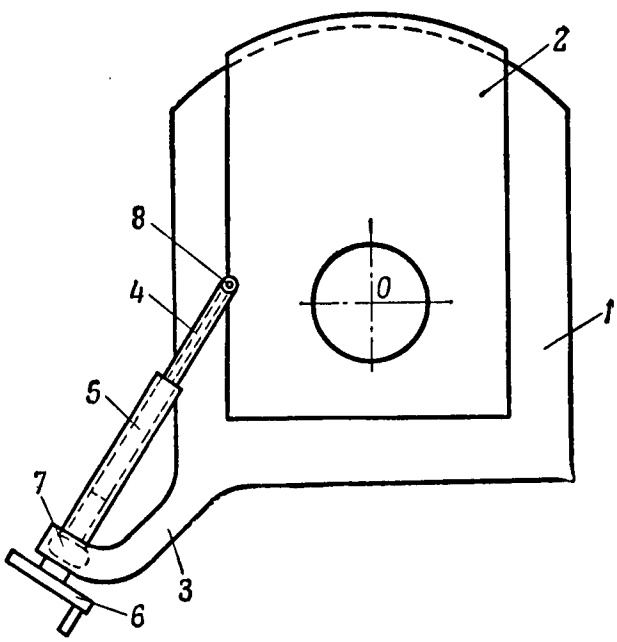


Рис. 143. Поворотный механизм винтового типа:

1 — нижний станок; *2* — верхний станок; *3* — кронштейн нижнего станка; *4* — винт; *5* — матка; *6* — маховик, жестко связанный с маткой; *7* — шаровой шарнир; *8* — шарнирная связь винта с верхним станком; *O* — ось вращения верхнего станка

II — секторные (например, оба механизма 45-*мм* противотанковой пушки обр. 1942 г. и 152-*мм* гаубицы-пушки — рис. 145 и 146).

Большинство современных орудий имеют секторные механизмы наводки.

Основное преимущество секторных механизмов наводки — возможность получения любого угла наводки (например, у зенитных орудий поворотный механизм дает возможность вести круговой горизонтальный обстрел благодаря зубчатому ободу).

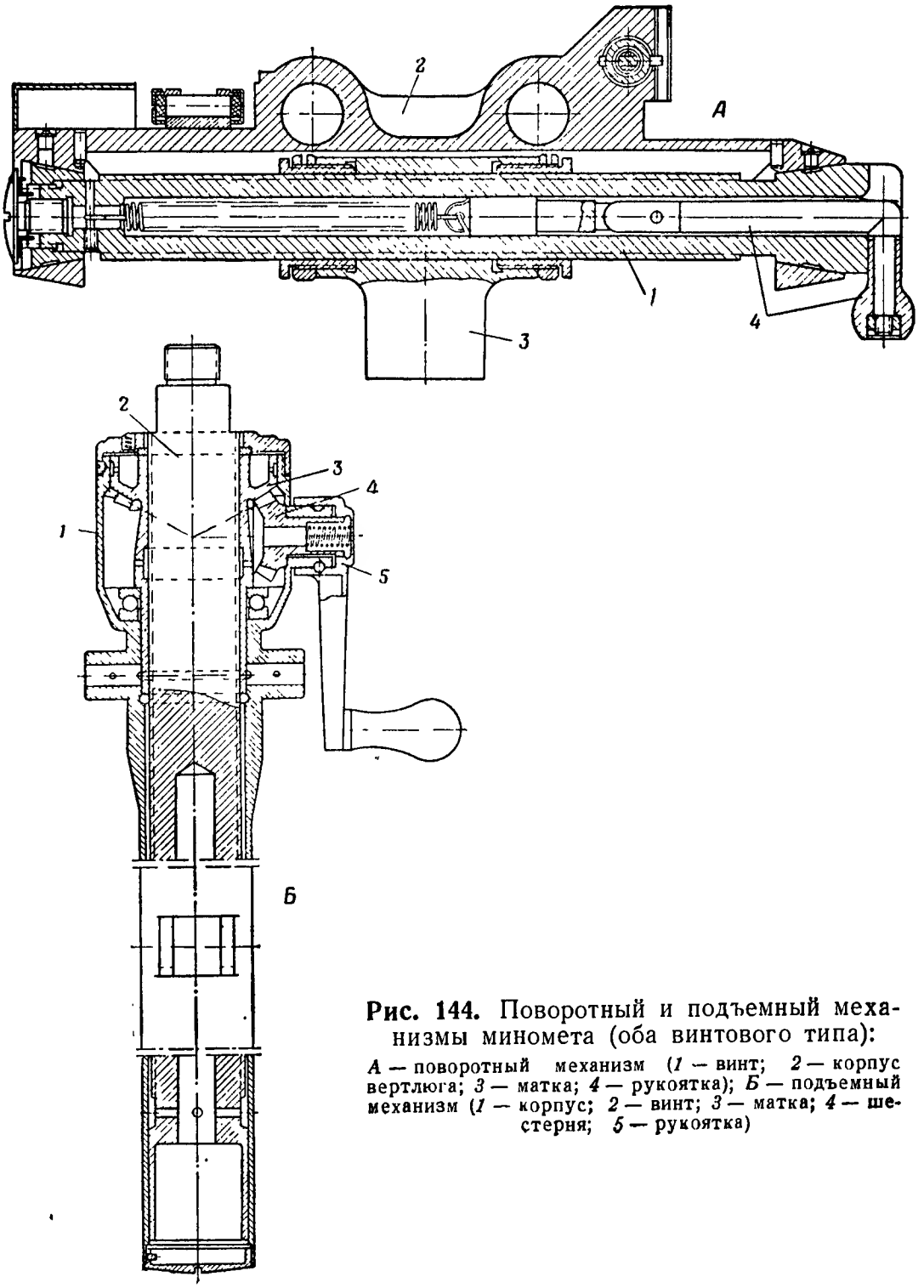


Рис. 144. Поворотный и подъемный механизмы миномета (оба винтового типа):

А — поворотный механизм (*1* — винт; *2* — корпус вертлюга; *3* — матка; *4* — рукоятка); *Б* — подъемный механизм (*1* — корпус; *2* — винт; *3* — матка; *4* — шестерня; *5* — рукоятка)

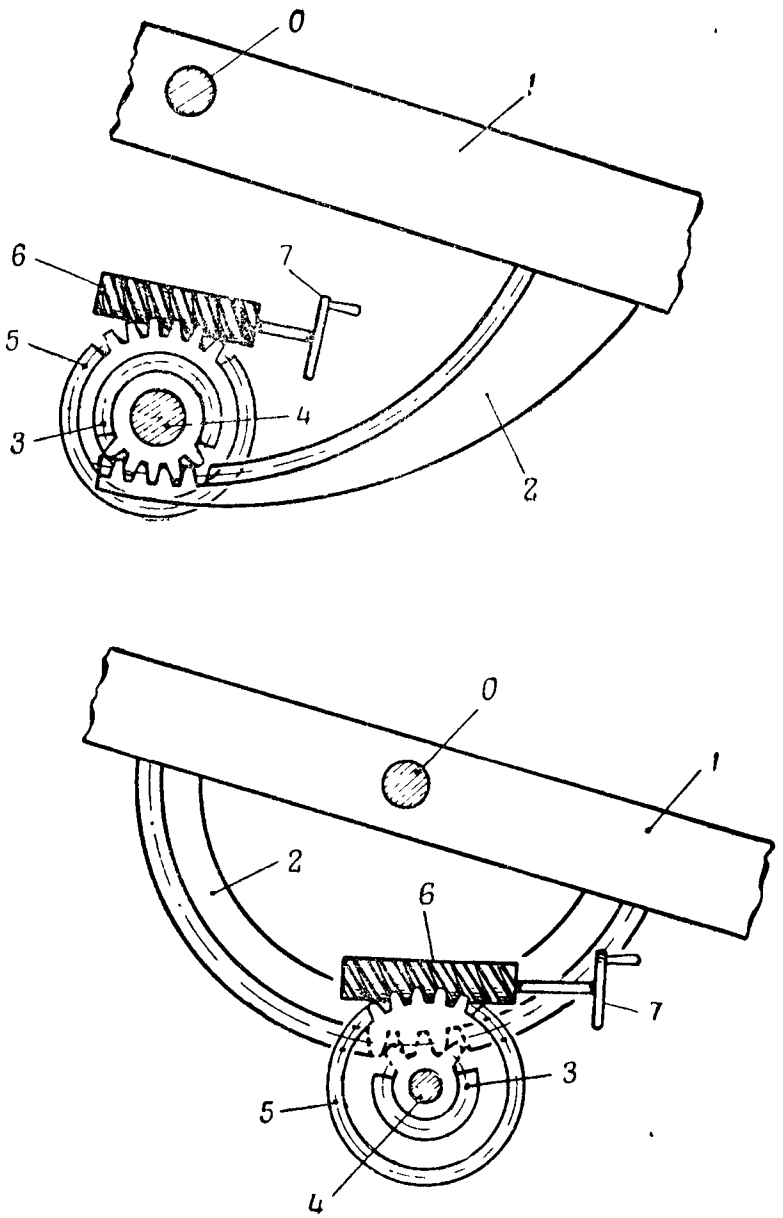


Рис. 145. Схемы подъемных механизмов секторного типа (два варианта):

1 — качающаяся часть; *2* — зубчатый сектор; *3* — цилиндрическая шестерня, находящаяся в зацеплении с сектором; *4* — коренной вал, на котором насажены шестерня *3* и червячное колесо *5*; *5* — червячное колесо; *6* — червяк, смонтированный вместе с колесом *5* в коробке подъемного механизма; *7* — маховик; *О* — цапфа люльки

Поворотные механизмы с зубцами на боевой оси, даже если нет дуговой формы, являются секторными, так как рейка также является частным случаем зубчатого сектора, радиус которого равен бесконечности.

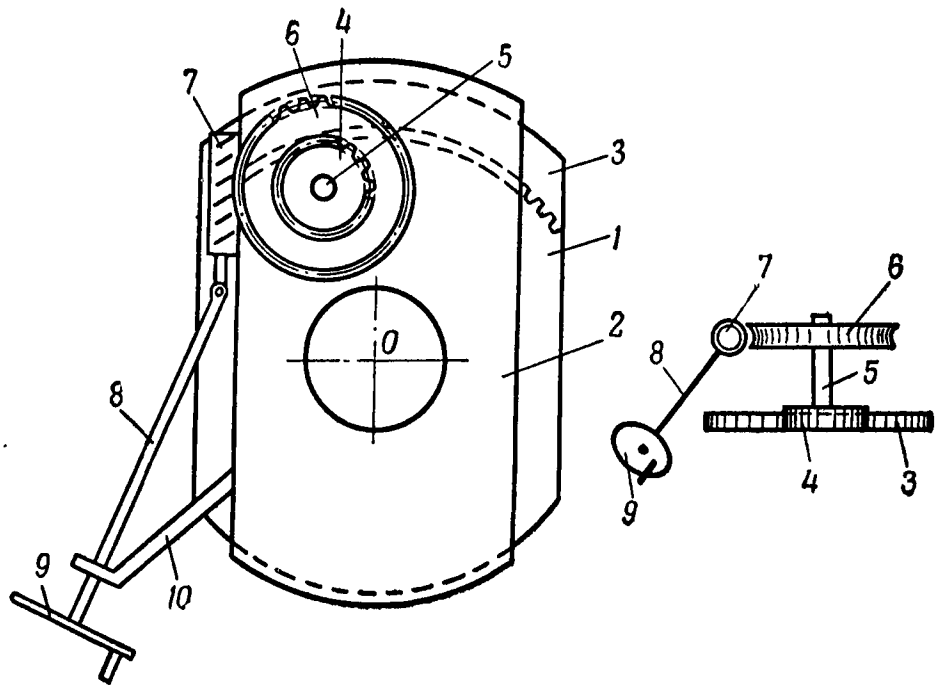


Рис. 146. Схема поворотного механизма секторного типа:
1 — нижний станок; *2* — верхний станок; *3* — зубчатый сектор (на нижнем станке); *4* — цилиндрическая шестерня, находящаяся в зацеплении с сектором *3*; *5* — ось для шестерни *4* и червячного колеса *6*; *6* — червячное колесо; *7* — червяк; *8* — валик, шарнирно связанный с червяком *7*; *9* — маховик; *10* — кронштейн верхнего станка; *O* — ось вращения верхнего станка

§ 2. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К МЕХАНИЗМАМ НАВОДКИ

Механизмы наводки должны обеспечивать:

1. Плавность наводки и точность придания стволу требуемого направления.
2. Легкость и удобство работы вручную.
3. Несбиваемость положения ствола относительно лафета при выстреле (чтобы при откате и накате механизмы наводки были самотормозящимися).
4. Требуемую скорость наведения.
5. Автоматический выбор мертвых ходов механизмов.
6. Простоту конструкции, обслуживания и ремонта.

Обычно требуемые скорости наводки колеблются от 0,5° в секунду (для тяжелых наземных орудий) до 15° в секунду и более (например, для зенитных орудий).

Особо большое значение имеют скорости наводки для морской, танковой, самоходной, береговой, авиационной и противотанковой артиллерии.

Скорость наводки связана с усилием, прилагаемым на маховике механизма.

Опытом установлено, что усилие на маховике не должно превосходить 4 *кг* при так называемом установившемся движении, т. е. движении с постоянной скоростью после разгона. При разгоне, когда преодолевается инерция больших масс, допускается усилие на маховиках до 8—12 *кг* [1].

§ 3. ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ СХЕМЫ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ НАВОДКИ ОРУДИЯ

Известны следующие основные схемы:

I. Поворот верхнего станка с качающейся частью вокруг вертикальной оси, проходящей через середину опоры на нижнем станке.

В зависимости от соединения верхнего станка с нижним данная схема подразделяется на две основные группы:

а) связь через захваты (152-*мм* гаубица-пушка обр. 1937 г.);

б) связь через штырь (122-*мм* гаубица обр. 1938 г.).

II. Поворот всего орудия, кроме боевого хода, вокруг центра опоры сошника с перемещением лобовой части станка по боевой оси.

По такой схеме было устроено подавляющее большинство орудий полевой артиллерии во время первой мировой войны (76-*мм* пушка обр. 1902 г.).

III. Поворот всего орудия вместе с башней вокруг оси вращения башни — основная схема для танковой, корабельной, береговой артиллерии и артиллерии бронепоездов.

IV. Поворот всего орудия вокруг вертикальной оси, проходящей через середину боевой оси, с опорой колес на специальный круглый поддон или непосредственно на грунт. Усилие прилагается к хоботовой части станины. Эта схема применяется в полевой артиллерии для грубой наводки при изменении направления стрельбы на большой угол.

V. Тумбовые установки с круговым обстрелом. По этой схеме устроены зенитные установки. Имеются две разновидности связи вертлюга с тумбой:

а) установка с горизонтирующим механизмом в тумбе (76-*мм* зенитная пушка обр. 1931 г.);

б) установка без горизонтирующего механизма в тумбе (85-*мм* зенитная пушка обр. 1939 г.).

Основная оценка различных схем осуществления поворота орудия

Поворотный механизм должен обеспечивать быстроту наводки при изменении угла наводки на большую величину.

[1] В зенитной, морской, танковой, тяжелой артиллерии устанавливаются силовые приводы, обеспечивающие большие и малые скорости наводки орудия в обеих плоскостях.

Для достижения этой цели необходимо делать меньшими вращающиеся массы, горизонтировать опорные поверхности, применять шариковые или роликовые опоры.

С этой точки зрения для полевых орудий весьма целесообразны лафеты с двумя станками, с роликовой или шариковой опорой. Башенные установки обязательно должны иметь электроприводы. Зенитные орудия должны иметь горизонтирующие механизмы.

§ 4. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ МЕХАНИКИ О РАБОТЕ МЕХАНИЗМОВ НАВОДКИ

а) Работы, совершаемые при наводке

Во время выполнения наводки силы, прилагаемые на маховиках, совершают работы:

1) по разгону качающейся или вращающейся части, т. е. по изменению живой силы движущихся масс;

2) по преодолению сопротивления сил трения в подшипниках, опорах и на зубьях или витках передачи;

3) по преодолению сопротивления неуравновешенности качающейся или вращающейся части относительно оси ее вращения (это особенно относится к качающейся части при плохой регулировке уравновешивающего механизма и к вращающейся части при значительном наклоне оси цапф).

Большие вредные сопротивления при наводке, вызываемые различными толчками и ускорениями во время движения, приходится преодолевать в танковых, самоходных и корабельных орудиях.

Для вращения массивной качающейся или вращающейся части необходимо приложить к ней большую силу. Но на маховиках не допускаются большие усилия. Решить эту задачу можно только при помощи специальной передачи, преобразующей малые усилия наводчиков в большие силы, действующие на качающуюся и вращающуюся части орудия.

Кроме этого, передачи в механизмах наведения обеспечивают самоторможение качающейся и вращающейся частей, передачу сил от маховика к стволу и изменение направления вращения и оси вращения.

б) Передаточное число механизма и пары

Передаточным числом механизма наводки называется отношение скоростей вращения маховика и ствола. Передаточное число механизма обозначается буквой i.

$$i_{\text{мех}} = \frac{\omega_{\text{махов}}}{\omega_{\text{ор}}},$$

где $\omega_{ор}$ — угловая скорость вращения качающейся или вращающейся части орудия;

$\omega_{махов}$ — угловая скорость вращения маховика данного механизма наводки.

Передаточное число механизма представляет собой произведение передаточных чисел отдельных кинематических пар, составляющих кинематическую цепь данного механизма наводки. Это записывается так:

$$i_{мех} = i_1 \cdot i_2 \cdot i_3 \cdot i_4 \ldots i_n.$$

Номера внизу букв обозначают номера кинематических пар; i_n — передаточное число последней пары.

Для шестереночной пары (конические или цилиндрические шестерни) и червячной пары передаточное число определяется как отношение скоростей вращения ведущего и ведомого звеньев:

$$i_{пары} = \frac{\omega_{ведущего}}{\omega_{ведомого}}.$$

Для пары шестерен скорости вращения обратно пропорциональны диаметрам окружностей зацепления или числу зубьев.

$$i_1 = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{d_2}{d_1} = \frac{z_2}{z_1},$$

$$i_2 = \frac{\omega_2}{\omega_3} = \frac{d_3}{d_2} = \frac{z_3}{z_2},$$

где z — число зубьев шестерни.

Диаметр нарезки на боевой оси для поворотного механизма одностаниннного лафета обычно равен двум расстояниям от оси до центра сошника.

Для червячной пары применимо правило о зубьях, причем червяк с одним заходом витков принимается за шестерню с одним зубом:

$$i_{червяка} = \frac{z_{колеса}}{z_{червяка}} = \frac{z_{колеса}}{1}.$$

Для любого числа заходов витков червяка следует вместо числа зубьев червяка ставить число заходов (k):

$$i_{червяка} = \frac{z_{колеса}}{z_{червяка}} = \frac{z_{колеса}}{k}.$$

На практике могут быть червяки с числом заходов витков $k = 1 \div 3$.

Число заходов определяется числом витков, находящихся на протяжении одного шага любого витка червяка.

в) Практическое определение передаточного числа всего механизма наводки

Работая данным механизмом наводки, измерить в градусах угол α между двумя произвольными направлениями оси ствола при помощи панорамы или квадранта и подсчитать число оборотов маховика за время перевода ствола из одного положения в другое (n).

Передаточное число механизмов определяется по формуле

$$i_{\text{мех}} = \frac{n \cdot 360^\circ}{\alpha^\circ}.$$

г) Передаточные числа пар из неоднородных элементов

Передаточное число для маховика и шестерни, насаженной на вал маховика, равно единице (нулевая пара):

$$i_0 = \frac{\omega_{\text{махов}}}{\omega_1} = 1.$$

Если винт в схеме передачи является осью маховика, то передаточное число маховика и винта определяется отношением длины окружности с радиусом, равным расстоянию от оси маховика до оси рукоятки маховика, к пути винта или матки за один оборот маховика, т. е. к шагу винта:

$$i_{\text{в}} = \frac{2\pi r_{\text{р}}}{s_{\text{в}}} = \frac{r_{\text{р}}}{r_{\text{в}} \operatorname{tg} \alpha},$$

где $s_{\text{в}}$ — шаг винта, $s_{\text{в}} = 2\pi r_{\text{в}} \operatorname{tg} \alpha$;

$r_{\text{р}}$ — радиус маховика (по оси рукоятки);

α — угол подъема винтовой линии;

$r_{\text{в}}$ — радиус винта.

Если матка вращается при помощи какой-либо зубчатой передачи, то в этом случае передаточное число определяется по формуле

$$i_{\text{в}} = \frac{\pi d_{\text{м}}}{s_{\text{в}}}$$

или

$$i_{\text{в}} = \frac{r_{\text{м}}}{r_{\text{в}} \operatorname{tg} \alpha},$$

где $s_{\text{в}}$ — шаг винта;

$2r_{\text{м}} = d_{\text{м}}$ — диаметр зацепления зубчатой передачи матки.

д) О силах в кинематических парах передачи

На соприкасающихся зубьях одной пары передачи согласно одному из основных законов механики (действие равно и противоположно противодействию) величины сил одинаковы:

$$p_1 = p_2.$$

Моменты, действующие на шестерни одной пары, а через них и на валы, на которые насажены шестерни, прямо пропорциональны диаметрам шестерен.

Пояснение. Момент равен произведению силы на плечо. Силы для шестерен одной пары одинаковые по величине, а плечами являются радиусы зацепления.

е) Роль размеров маховика в механизме наведения

Через маховик наводчик прикладывает свою силу на определенном плече относительно оси вала, на котором насажены первая шестерня, или винт, или матка. Чем больше радиус маховика, тем больше будет вращающий момент, создаваемый наводчиком при одной и той же силе, приложенной на рукоятке маховика. Но большие размеры маховика не всегда удобны для расположения механизмов и работы наводчика.

ж) Сущность самоторможения передачи

Сила P, действующая вдоль винта или червяка, благодаря наклону витков разлагается на две составляющие — перпендикулярную к опорной поверхности витка — $P\cos\alpha$ и параллельную этой поверхности — $P\sin\alpha$ (рис. 147).

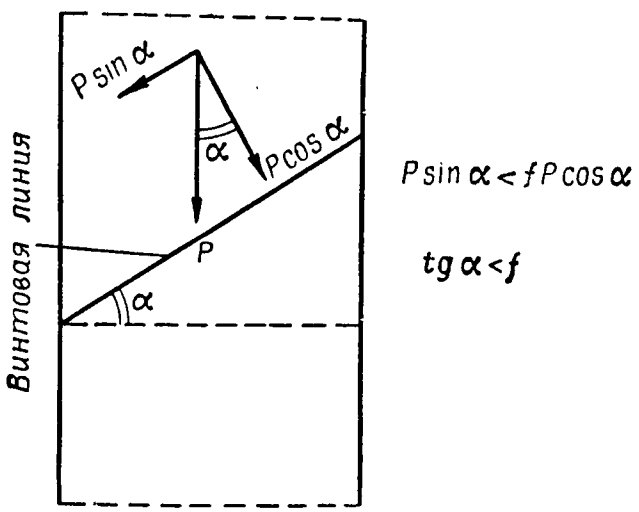


Рис. 147. Схема сущности самоторможения винтовой передачи

Составляющая $P\sin\alpha$ стремится повернуть винт (или матку), а сила $P\cos\alpha$ создает силу трения $fP\cos\alpha$, тормозящую вращение винта.

При определенных сочетаниях угла подъема α и коэффициента f сила трения может оказаться больше вращающей силы $P\sin\alpha$; в этом случае винт не будет вращаться. Получится явление самоторможения.

Итак, условием самоторможения является

$$P \sin \alpha < fP \cos \alpha$$

или

$$\operatorname{tg} \alpha < f.$$

Величина коэффициента трения зависит от состояния поверхностей сопряжения винта, от материала элементов пары, от типа подшипников и смазки.

Очевидно, что чем меньше коэффициент трения, тем меньше должен быть угол подъема винтовой линии в самотормозящей передаче.

Ниже приведена таблица ряда значений коэффициента трения и соответствующего максимального значения угла подъема винтовой линии (винта или червяка) для получения самоторможения передачи.

Коэффициент трения f	0,20	0,15	0,10	0,08	0,05	0,03	0,01
Предельно допустимый угол подъема винтовой линии $\alpha_{пр}$ . . .	10°	8°	5°	4°	2°30′	1°30′	0°30′
$\operatorname{tg}\alpha_{пр}$	0,176	0,14	0,0875	0,07	0,043	0,026	0,00873

Для надежности самоторможения угол подъема необходимо уменьшить, учитывая колебание величины коэффициента трения в процессе работы механизма.

Для механизмов горизонтальной наводки необходимо брать $\alpha_{пр}$ не более 4°, а для подъемных механизмов тяжелых систем $\alpha_{пр} \leqslant 3°$.

з) Коэффициент полезного действия механизма и кинематической пары

Коэффициентом полезного действия механизма называется отношение полезной работы механизма к затраченной работе:

$$\eta_{мех} = \frac{A_{полезн}}{A_{затрат}}.$$

Затраченная работа измеряется работой наводчика на маховике:

$$A_{затрат} = P_н r_м \cdot 2\pi \cdot n,$$

где $P_н$ — усилие наводчика;
$r_м$ — радиус маховика;
n — число оборотов маховика.

Полезная работа определяется живой силой, сообщаемой вращающейся части орудия, и работой по преодолению действия момента трения на опорах вращающейся (или качающейся) части орудия и момента неуравновешенности.

Разность ($A_{\text{затрат}} - A_{\text{полезн}}$) идет на преодоление сопротивления сил трения в кинематических парах, возникающих при передаче сил от маховика к орудию.

Сила трения зависит от подъема винтовой линии (чем меньше подъем, тем больше нормальная составляющая давления на поверхностях зацепления и сила трения) и от типа подшипников.

Коэффициент полезного действия механизма $\eta_{\text{мех}}$ можно вычислить по коэффициентам полезного действия кинематических пар, входящих в передачу механизма:

$$\eta_{\text{мех}} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdots \eta_n,$$

где η_1, η_2 и т. д. — коэффициенты полезного действия отдельных пар.

Для вычисления $\eta_{\text{мех}}$ можно принять:

η пары цилиндрических шестерен $= 0{,}95$
η пары конических шестерен $= 0{,}92$
η червячной пары с самоторможением $= 0{,}40$
η винта и матки с самоторможением $= 0{,}40$.

Этими коэффициентами не учитываются потери на трения, вызываемые неуравновешенностью системы.

и) Определение необходимого передаточного числа для получения требуемой скорости наводки

Опытом установлено, что наибольшая скорость вращения вручную маховика механизма наводки

$$\omega_{\text{махов}} = 120 \frac{\text{оборотов}}{\text{минуту}} = 2 \frac{\text{оборота}}{\text{сек}} = 4\pi \left(\frac{1}{\text{сек}}\right) = 720 \left(\frac{^\circ}{\text{сек}}\right).$$

$$i_{\text{мех}} = \frac{\omega_{\text{махов}}}{\omega_{\text{орудия}}} = \frac{720^\circ}{\omega_{\text{ор}}^\circ}$$

(для наибольшей скорости вращения маховика).

Пример. Требуется обеспечить скорость наводки

$$\omega_{\text{ор}} = 5 \left(\frac{^\circ}{\text{сек}}\right).$$

Необходимое передаточное число механизма наводки равно

$$i_{\text{мех}} = \frac{720^\circ}{5^\circ} = 144.$$

§ 5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕОБХОДИМЫХ УСИЛИЙ НА МАХОВИКЕ МЕХАНИЗМА НАВОДКИ

Для примера возьмем схему расчета подъемного механизма.

Общее усилие на маховике $P_{\text{махов}}$ складывается из следующих частей:

$$P_{\text{махов}} = p' + p'' + p''',$$

где p' — усилие, затрачиваемое на преодоление сил трения в цапфах от веса качающейся части (p' прямо пропорционально весу $Q_к$, коэффициенту трения и диаметру цапфы люльки);

p'' — усилие, затрачиваемое на разгон качающейся части и принимаемое постоянным для всего времени разгона (зависит от времени разгона и конструкции орудия);

p''' — усилие, затрачиваемое на преодоление неуравновешенности качающейся части (можно вычислить на основании известных данных о конструкции орудия); p''' может быть больше или меньше нуля.

Рабочими формулами для определения отдельных составляющих усилия на маховике являются:

$$p' = \frac{M_{\text{тр}}}{\eta_{\text{мех}} \cdot r_м \cdot i_{\text{мех}}}, \text{ где } M_{\text{тр}} = fQ_к \frac{d_ц}{2},$$

$$p'' = \frac{I_к \omega_к^2}{\eta_{\text{мех}} \cdot r_м \cdot \omega_м \cdot t_{\text{разг}}} \text{ или } p'' = \frac{I_к \omega_к}{\eta_{\text{мех}} \cdot r_м \cdot i_{\text{мех}} \cdot t_{\text{разг}}},$$

где $I_к$ — момент инерции качающейся части относительно оси цапф; величину $I_к$ можно определить опытным путем;

Пояснение. Так как $P_{\text{махов}} = p' + p'' + p'''$, где p' и p''' могут быть приняты постоянными [1], то при $P_{\text{махов}} = \text{const}$ будет и $p'' = \text{const}$. Зная p'', $t_{\text{разг}}$, $\omega_к$, $\eta_{\text{мех}}$ и $i_{\text{мех}}$, можно вычислить $I_к$ по формуле

$$I_к = \frac{p'' \cdot \eta_{\text{мех}} \cdot r_м \cdot i_{\text{мех}} \cdot t_{\text{разг}}}{\omega_к}.$$

Величину $\omega_к$ можно вычислить по углу поворота φ за время $t_{\text{разг}}$ при $p'' = \text{const}$ по формуле равноускоренного вращения $\omega_к = \frac{2\varphi}{t_{\text{разг}}}$.

$\omega_к$ — наибольшая угловая скорость разгона качающейся части орудия (в радианах в секунду);

$\omega_м$ — угловая скорость маховика в конце разгона $\left(\frac{1}{\text{сек}}\right)$;

$r_м$ — радиус маховика;

---

[1] Сумма $(p' + p''')$ равна наименьшему усилию $P_{\text{махов}}$, при котором можно поворачивать маховик после выбора мертвого хода. При опыте $(p' + p''')$ определяют для нескольких положений ствола и принимают среднее значение.

$i_{мех}$ — передаточное число механизма;
$t_{разг}$ — время разгона ($t_{разг} = 0{,}5 \div 1$ сек., а для опыта может быть любым);
$d_ц$ — диаметр цапфы люльки;
f — 0,2 для втулки и 0,05 для шарико- или роликоподшипников.

Для выражения p'' через угловую скорость вращения качающейся части в градусах в секунду

$$\omega_к = \omega_к^\circ \frac{\pi}{180}$$

и через скорость вращения маховика в оборотах в минуту (n)

$$\omega_м = \frac{n \cdot 2\pi}{60} = \frac{n \cdot \pi}{30}$$

необходимо пользоваться формулой

$$p'' = \frac{I_к \omega_к^2 \pi 30}{\eta_{мех} \cdot r_м \cdot n\,(180^\circ)^2\, t_{разг}} = \frac{I_к \omega_к^2 \pi}{\eta_{мех} \cdot r_м \cdot n \cdot 1080 \cdot t_{разг}}\ (кг),$$

где $I_к \frac{\omega_к^2}{2}$ — живая сила качающейся части орудия в конце разгона.

Пояснение. При разгоне происходит равноускоренное вращение качающейся части, так как сила p'' постоянная. Благодаря этому $\omega_м = \xi t_{разг}$, где ξ — угловое ускорение вращения маховика, а $\varphi_m = \xi \frac{t_{разг}^2}{2} = \omega_м \frac{t_{разг}}{2}$ — угловое перемещение маховика за время разгона. Затраченная работа на маховике для разгона равна

$$p'' \cdot r_м \cdot \varphi_m = p'' r_м \omega_м \frac{t_{разг}}{2}.$$

Для определения p''' исходными формулами являются:

$$p''' = \frac{\Delta M_{неур}}{\eta_{мех} \cdot r_м \cdot i_{мех}};$$

$$\Delta M_{неур} = M_{вес} - M_{ур};$$

$$M_{вес} = Q_к l_к \cos\psi \text{ (см. рис. 150)},$$

где $\Delta M_{неур}$ — момент неуравновешенности качающейся части орудия, равный разности моментов веса качающейся части и силы уравновешивающего механизма (см. гл. XIII);
$l_к$ — расстояние от оси цапф до центра тяжести качающейся части;
ψ — угол между горизонтом и линией $l_к$.

$$M_{ур} = П_у l_у,$$

где $П_у$ — сила уравновешивающего механизма;

$l_у$ — плечо силы $П_у$ относительно оси цапф люльки.

После разгона усилие на маховике будет состоять из двух слагаемых

$$P_{махов} = p' + p'''.$$

Расчет усилий на маховике поворотного механизма ведется по подобным же формулам, причем: вместо $Q_к$ следует брать $Q_в$; вместо $d_ц$ следует брать d — диаметр подшипника штыря или опорного погона на нижнем станке (в зависимости от того, на что опирается станок до выстрела); вместо $l_к$ следует брать $l_в$ — равное расстоянию от оси штыря или погона до центра тяжести вращающейся части; вместо cos ψ следует брать 1; вместо $I_к$ следует брать $I_в$ (см. рис. 161).

§ 6. ТОРМОЗНЫЕ ПРИСПОСОБЛЕНИЯ В ПОДЪЕМНЫХ И В ПОВОРОТНЫХ МЕХАНИЗМАХ. МЕРТВЫЕ ХОДА В МЕХАНИЗМАХ НАВОДКИ

Для исключения разрушительного действия больших напряжений, возникающих в зубчатой передаче подъемных и поворотных механизмов во время выстрела, а также в конце наводки, производившейся с большой скоростью, в тяжелых, танковых и зенитных орудиях применяют тормозные приспособления (рис. 148 и 149). При помощи этих приспособлений

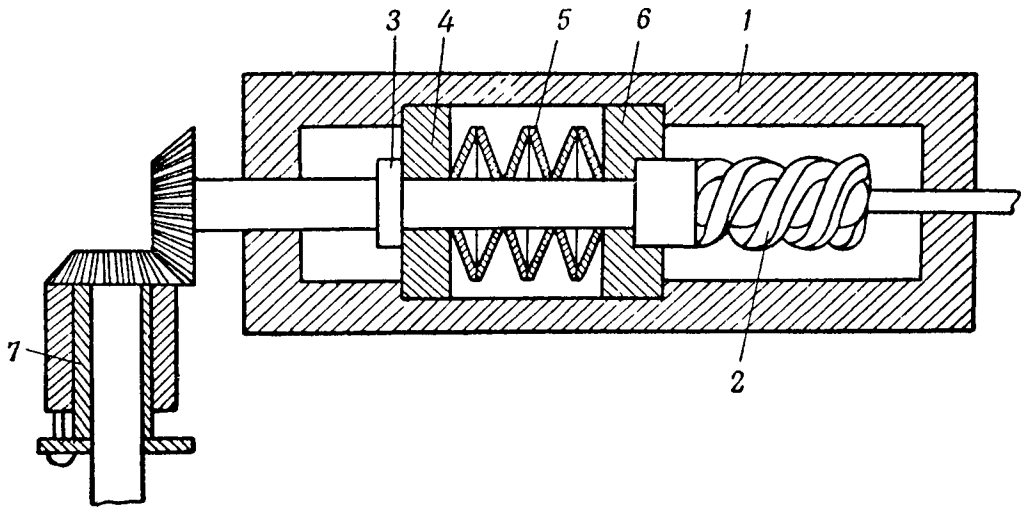


Рис. 148. Тормозные приспособления в подъемных и поворотных механизмах (пружинный амортизатор):

1 — коробка; *2* — червяк; *3* — буртик; *4* — шайба; *5* — пружины; *6* — кольцо; *7* — эксцентрический вкладыш

затормаживают одну из деталей передачи (вал с червяком, червячный обод на тумбе и т. п.). Если на эту деталь будут действовать силы, превосходящие тормозящее усилие, то она, а следовательно, и вся качающаяся (или вращающаяся) часть орудия будет пробуксовывать до тех пор, пока тормозное при-

способление не окажет достаточного тормозящего действия. Пружинные тормозные приспособления являются буферами, возвращающими подвижную часть в положение, в котором она была оставлена в конце наводки.

Часто тормозные приспособления одновременно выполняют и роль приспособления, устраняющего вредное влияние мертвых ходов механизмов наводки.

Это достигается путем введения пружин (обычно тарельчатых), надеваемых на один из концов вала, оси червяка или колеса передачи.

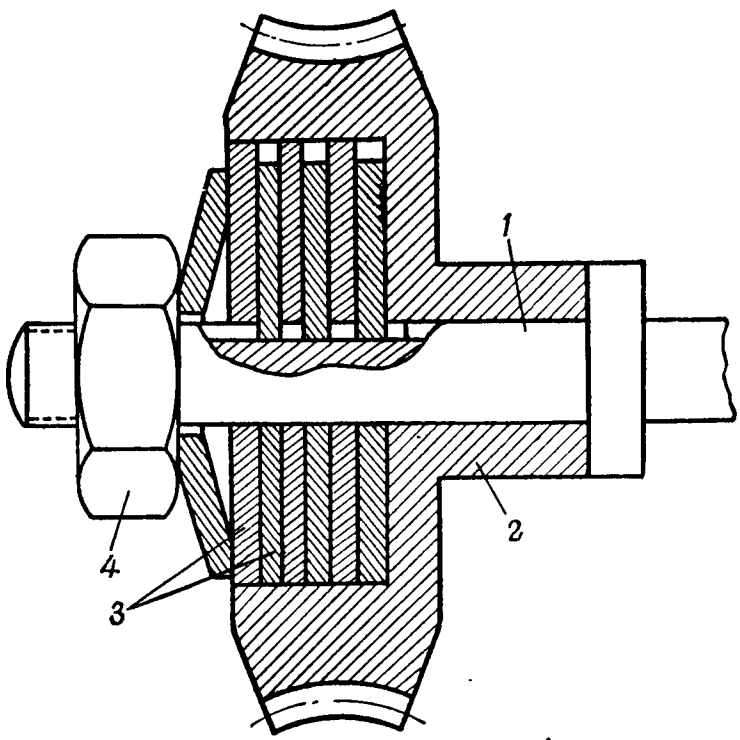


Рис. 149. Тормозные приспособления в подъемных и поворотных механизмах (муфта трения):
1 — вал; *2* — колесо привода; *3* — диски трения; *4* — нажимная гайка

Вал (или ось) может перемещаться в осевом направлении, если появятся зазоры между зубьями передачи. Пружины давят постоянно на вал (ось) в одном направлении и исключают возможность случайных положений зубьев, находящихся в зацеплении.

Мертвый ход в механизмах наводки получается благодаря наличию зазоров во всех звеньях кинематической цепи. Величина зазора зависит от допусков на обработку, от качества сборки, от степени износа деталей и от величины деформации деталей. Мертвый ход механизмов увеличивается по мере износа деталей. Частые разборки и сборки механизмов также приводят к увеличению мертвых ходов.

Работа без смазки или с грязной смазкой сильно увеличивает мертвый ход, так как при этом детали изнашиваются быстрее. Чистка деталей с применением наждака, песка и т. п. также вызывает быстрое истирание ответственных участков механизмов. Чрезмерно резкие толчки при страгивании качающейся или вращающейся части орудия или резкие остановки при наводке также способствуют износу деталей.

При выстреле момент $P_{кн}e$ стремится повернуть ствол, и при наличии больших зазоров получаются резкие удары в зубчатых зацеплениях механизмов с последующим разрушением поверхностей сопряжения.

Увеличенные мертвые хода вызывают большое рассеивание снарядов и делают стрельбу малоэффективной. Поэтому забота о сохранении материальной части является важнейшей обязанностью каждого артиллериста.

ГЛАВА XIII

УРАВНОВЕШИВАЮЩИЕ МЕХАНИЗМЫ

§ 1. НАЗНАЧЕНИЕ УРАВНОВЕШИВАЮЩИХ МЕХАНИЗМОВ

Впервые уравновешивающий механизм был применен в России в 1904 г. в 152-*мм* скорострельной полевой гаубице обр. 1904 г. Обуховского завода.

Почти во всех современных орудиях цапфы люльки расположены позади центра тяжести качающейся части орудия; это делается с целью исключить возможность ударов казенной части ствола о землю при больших углах возвышения в конце отката и при небольшой высоте линии огня.

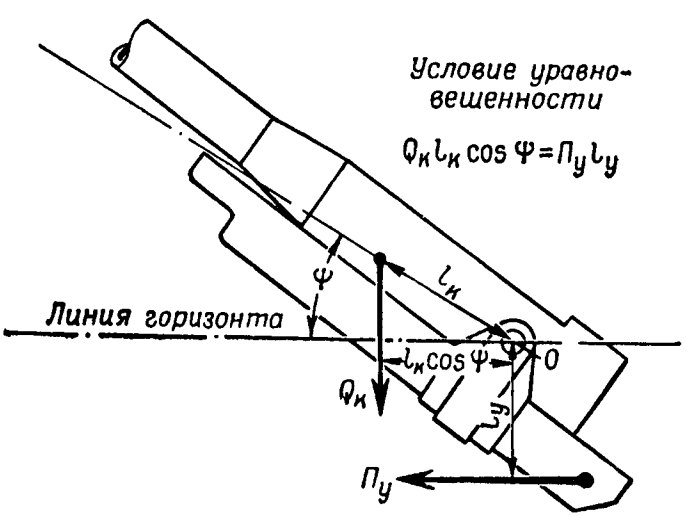


Рис. 150. Схема к расчету уравновешивающего механизма

Чем меньше высота линии огня, тем устойчивее орудие при выстреле и тем легче замаскировать орудие на позиции.

Вынос центра тяжести качающейся части орудия вперед (относительно оси цапф) создает момент силы веса $M_{вес}$ качающейся части орудия $Q_к$ относительно оси цапф, стремящийся повернуть ствол дулом книзу (рис. 150). Момент

веса $M_{вес}$ равен произведению веса качающейся части $(Q_к)$ на плечо $(l_к \cdot \cos\psi)$ этой силы относительно оси цапф. Плечо силы $Q_к$ относительно оси цапф меняется с изменением угла возвышения, так как центр тяжести качающейся части при изменении угла возвышения перемещается по окружности. Радиусом окружности, по которой перемещается центр тяжести качающейся части, является расстояние $l_к$ между осью цапф и центром тяжести.

Обозначим через ψ угол между линией $l_к$ и горизонтом.

При любом угле возвышения момент веса качающейся части определяется выражением

$$M_{вес} = Q_к l_к \cos\psi.$$

У большинства орудий угол ψ мало отличается от угла возвышения φ. Отличие ψ от φ вызывается тем, что при $\varphi = 0$ линия $l_к$, как правило, не горизонтальна.

Наибольшее значение $M_{вес}$ будет при горизонтальном положении линии $l_к$, т. е. при $\psi = 0°$. Наименьшее значение для данной системы $M_{вес}$ имеет при $\varphi = \varphi_{мах}$.

При вертикальном положении линии $l_к$, т. е. при $\psi = 90°$, $M_{вес} = 0$. В этом положении в механизме, уравновешивающем качающуюся часть орудия, будет самое малое усилие.

Действие момента веса качающейся части $M_{вес}$ сильно затрудняет работу наводчика на подъемном механизме и создает дополнительные напряжения на зубьях и витках деталей подъемного механизма.

Уничтожить вредное действие момента веса можно двумя способами:

а) утяжелением казенной части ствола или люльки, приводящим центр тяжести качающейся части на линию оси цапф (этот способ широко применим в морской и танковой артиллерии);

б) применением уравновешивающих механизмов, создающих момент уравновешивания качающейся части

$$M_{ур} = П_у l_у,$$

где $П_у$ — сила уравновешивающего механизма, действующая на качающуюся часть орудия; $l_у$ — плечо силы $П_у$.

$M_{ур}$ примерно равен по величине моменту $M_{вес}$, но имеет обратный знак. Действие $M_{ур}$ уравновешивает действие $M_{вес}$.

Главное назначение уравновешивающих механизмов — разгрузить подъемный механизм и тем самым облегчить работу наводчика, производящего наводку в вертикальной плоскости.

Рекомендуется обеспечить незначительный перевес казенной части ствола, чтобы во все время наводки, а также при откате и накате зазоры в подъемном механизме выбирались

в одну сторону. Это способствует увеличению кучности стрельбы и сохранению деталей подъемного механизма, так как исключается перемещение (вращение) ствола при заряжании и при выстреле вследствие зазоров в подъемном механизме. Имеется в виду, что обычно момент динамической пары $P_{кн} \cdot e$ стремится повернуть ствол дулом кверху.

§ 2. ТИПЫ УРАВНОВЕШИВАЮЩИХ МЕХАНИЗМОВ

Современные уравновешивающие механизмы в зависимости от характера упругих сред делятся на пружинные и пневматические.

В зависимости от конструктивных особенностей пружинные механизмы подразделяются на однорядные и телескопические, а пневматические — на пневматические и гидропневматические.

Подавляющее большинство уравновешивающих механизмов нашей артиллерии пружинные, так как они проще в эксплуатации и более надежно уравновешивают качающуюся часть при любых условиях.

Основным преимуществом гидропневматических механизмов является отсутствие пружин, производство которых сложно и требует применения специальных сортов стали.

Отрицательные стороны гидропневматических механизмов: большая чувствительность к изменению температуры (давление при одном и том же объеме прямо пропорционально абсолютной температуре газа); сложность изготовления уплотняющих устройств (как для накатников); зависимость силы механизма от направления и скорости движения ствола орудия при наводке. Имеются в виду силы трения в уплотнениях, направление которых зависит от направления движения поршня. Кроме того, давление газа меняется не по прямой линии, а по закону

$$p_1 W_1^m = p_2 W_2^m,$$

где m более единицы и увеличивается с увеличением скорости изменения объема газов.

Для орудий больших калибров более выгодно применять гидропневматические уравновешивающие механизмы, так как пружинные уравновешивающие механизмы для этих систем получаются очень громоздкими.

В зависимости от места и способа приложения уравновешивающей силы к люльке уравновешивающие механизмы делятся на два типа: толкающие и тянущие.

§ 3. СХЕМЫ УРАВНОВЕШИВАЮЩИХ МЕХАНИЗМОВ

На рис. 151 приведена схема пружинного уравновешивающего механизма толкающего типа (122-*мм* гаубицы обр. 1909 г. и 152-*мм* гаубицы обр. 1904 г. Обуховского завода). Нижний

(наружный) цилиндр своими цапфами закреплен в верхнем станке, а верхний (внутренний) упирается в люльку.

При изменении угла возвышения внутренний цилиндр перемещается в наружном.

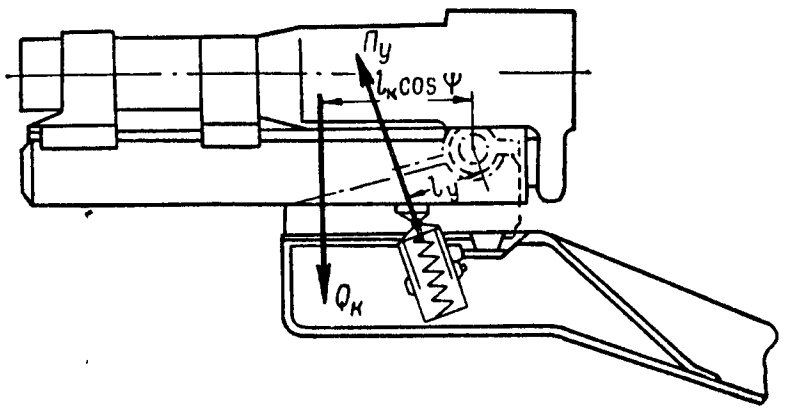


Рис. 151. Схема пружинного уравновешивающего механизма толкающего типа (122-*мм* гаубицы обр. 1909 г.)

На рис. 152 приведена схема механизма толкающего типа, имеющая широкое применение в нашей тяжелой артиллерии. По такой схеме могут быть выполнены как пружинные, так и гидропневматические механизмы. Сила $П_у$ приложена к кронштейну (рычагу), закрепленному на цапфе люльки.

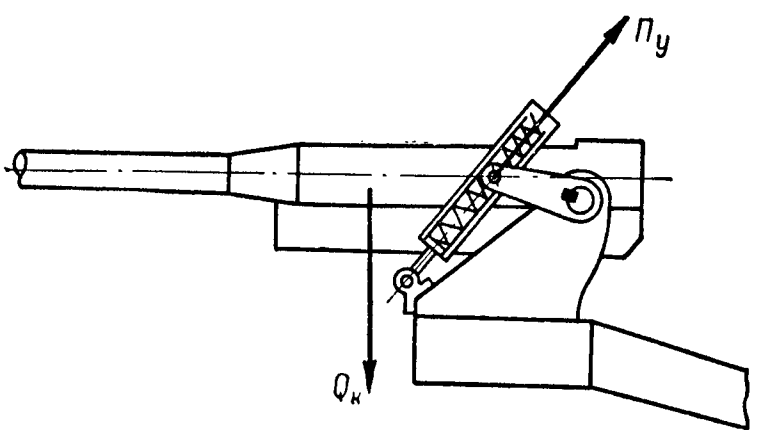


Рис. 152. Схема уравновешивающего механизма толкающего типа (пружинного или пневматического), имеющая весьма широкое применение в тяжелой артиллерии

На рис. 153 показана схема гидропневматического механизма толкающего типа. Подвижный верхний цилиндр упирается в специальный кронштейн, насаженный на цапфу люльки со шпонкой. Нижний цилиндр опирается на верхний станок. Действия сил на схемах, указанных на рис. 152 и 153, подобны.

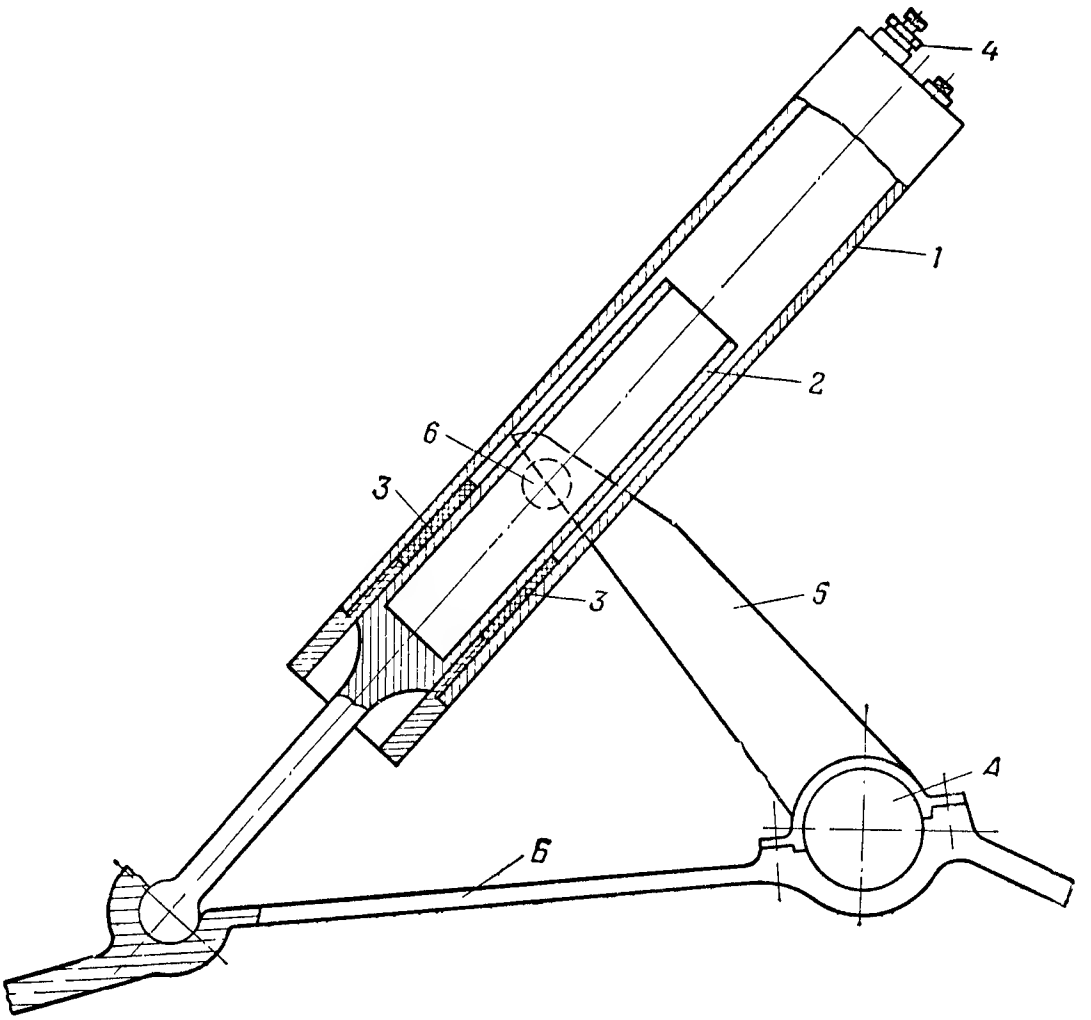


Рис. 153. Схема гидропневматического уравновешивающего механизма толкающего типа:

1 — наружный цилиндр; *2* — поршень полый; *3* — уплотнительное устройство; *4* — вентильное устройство; *5* — рычаг, закрепленный на цапфе люльки; *6* — цапфа наружного цилиндра; *А* — цапфа люльки; *Б* — верхний станок

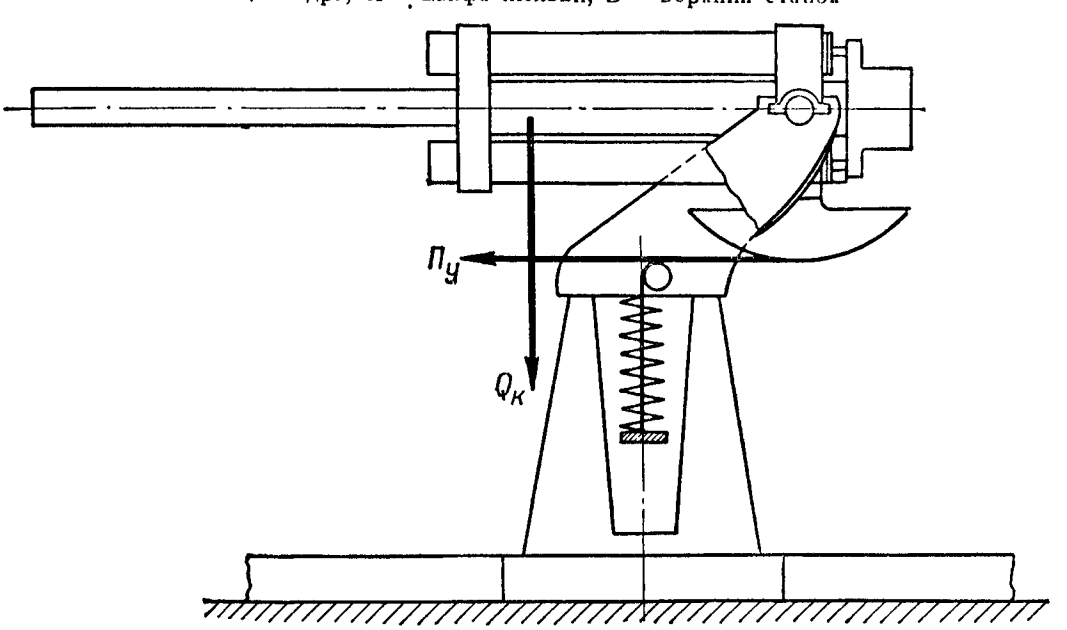


Рис. 154. Схема пружинного уравновешивающего механизма тянущего типа

На рис. 154 показана схема пружинного уравновешивающего механизма тянущего типа. Пружина расположена внутри штыря. Цепь прикреплена одним концом к сектору подъемного механизма, а вторым к штоку поршня, на который опирается нижний конец пружины.

На рис. 155 дана схема пружинного уравновешивающего механизма тянущего типа. Неподвижный конец троса прикреплен в точке A к верхнему станку. Особенностью данной схемы является жесткая связь цилиндра уравновешивающего механизма с люлькой. Пружина с силой $П_у$ давит на переднее дно цилиндра и тем самым тянет казенную часть вниз. Такое размещение выгодно с точки зрения использования веса механизма для уравновешивания системы, но невыгодно с точки зрения общих габаритов люльки и удобства обслуживания орудия.

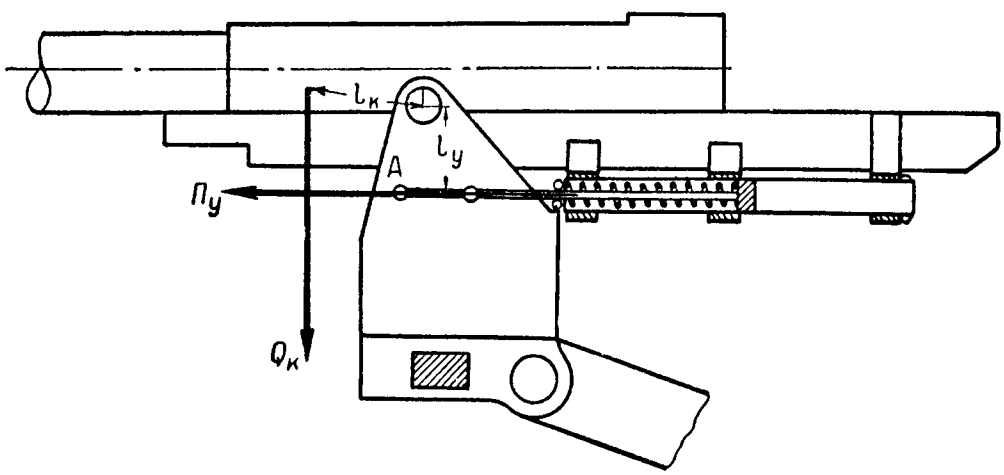


Рис. 155. Схема уравновешивающего механизма тянущего типа с креплением цилиндра к люльке в направлении, параллельном оси ствола. Шток соединен с тросом

На рис. 156 показана схема пружинного уравновешивающего механизма тянущего типа с кривошипной передачей, позволяющей обойтись без гибкой передачи (цепи или троса). Размеры r_1 и r_2 постоянные при всех углах возвышения.

При этой схеме цилиндры качаются вокруг своих цапф, помещенных в верхнем станке. Преимущество такой схемы — возможность получить наилучшее уравновешивание при определенном подборе конструктивных характеристик. Для полного уравновешивания в этом случае необходимо соблюсти следующие два условия:

1) $\angle AOB = \angle \beta = 90°$ при $\psi = 0°$.

2) Стрела сжатия пружин $f = AB$ при $\psi = 0°$.

На рис. 157 изображена схема уравновешивания качающейся части спиральной пружиной. Один конец пружины A прикреплен к качающейся части, а второй $Б$ закреплен в верхнем станке. При изменении угла возвышения изменяется

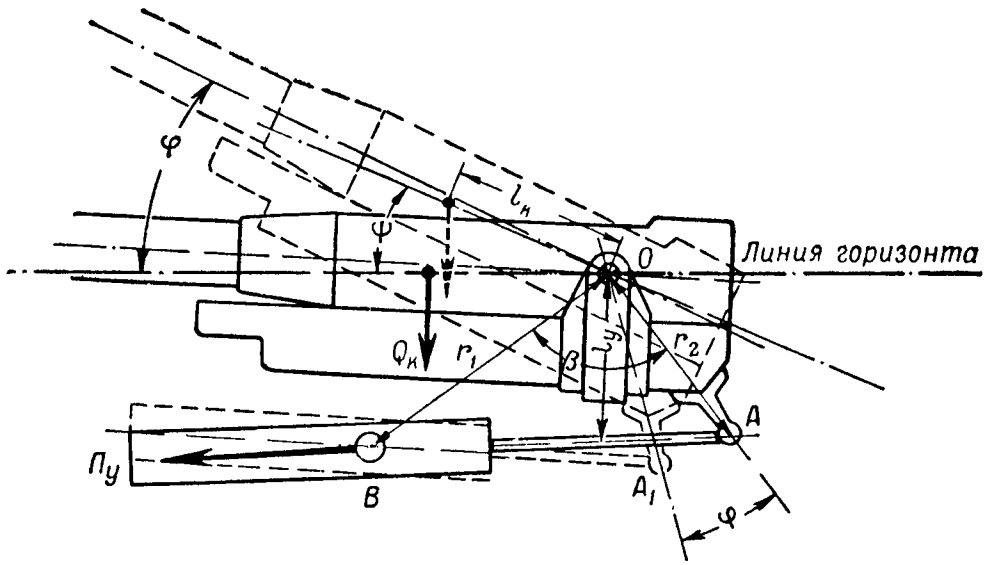


Рис. 156. Схема уравновешивающего механизма тянущего типа с кривошипной передачей

закручивание пружины за счет перемещения точки A. Момент силы спиральной пружины ($M_{ур} = П_у \cdot l_у$) прямо пропорционален углу закручивания. Момент закручивания пружины в данный момент одинаков для всех ее точек.

Спиральная пружина без особых приспособлений не дает хорошего уравновешивания при всех углах возвышения, так как момент веса меняется прямо пропорционально не углу ψ, а $\cos\psi$. Эта схема применяется в орудиях малого калибра.

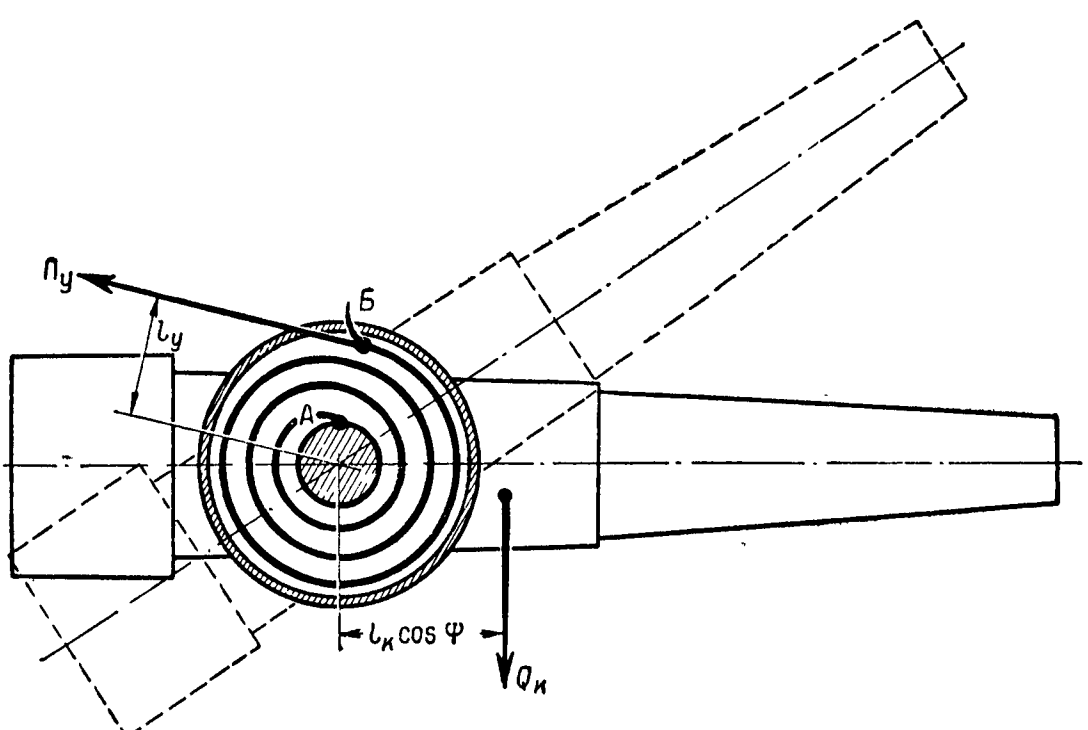


Рис. 157. Схема уравновешивающего механизма тянущего типа со спиральной пружиной

§ 4. О РЕГУЛИРОВКЕ УРАВНОВЕШИВАЮЩИХ МЕХАНИЗМОВ

Все выпускаемые заводами орудия имеют отрегулированные уравновешивающие механизмы. Признаком отрегулированности уравновешивающего механизма является возможность производить работу подъемным механизмом в обоих направлениях на всем секторе вертикального обстрела без больших усилий на маховике (или рукоятке) механизма. Перед проверкой механизма орудие необходимо установить на горизонтальной площадке без наклона оси цапф.

В процессе эксплуатации регулировка уравновешивающего механизма может нарушиться по следующим причинам:

1) Осадка пружин (остаточные деформации получаются тем больше, чем больше напряжение в металле; величина осадки зависит от качества термической обработки пружин).

2) Появление больших трений между пружинами и цилиндрами или штоками (если размеры пружин в поперечном направлении изменились за счет остаточных деформаций или за счет выпучиваний при сжатии их).

3) Трещины или поломки пружин (получаются заедания пружин в цилиндре и сильные царапания с резко возрастающим сопротивлением механизма).

4) Загрязнение механизма; замерзание влаги, попавшей в механизм.

5) Деформации цилиндров, штоков, тяг, рычагов и других деталей, передающих усилия от механизма к станку и к люльке.

6) Неправильная сборка механизма; неверное наполнение гидропневматического механизма жидкостью и воздухом.

7) Изменение сил трения в зацеплениях кинематических пар подъемного механизма (сорт и качество смазки, качество сборки подъемного механизма и его состояние).

8) Изменение веса качающейся части орудия вследствие каких-либо операций ремонта или в результате усовершенствования механизмов орудия.

9) Износ резьбы на штоках, тягах и в гайках.

Прежде чем приступить к регулировке уравновешивающего механизма, следует выявить причины, нарушившие нормальную работу подъемного и уравновешивающего механизмов и, если нужно, заменить или отремонтировать детали, кроме того, вычистить и смазать их.

При регулировке необходимо проверять работу механизма на всем секторе вертикального обстрела, уделяя особое внимание работе механизма при углах возвышения $\varphi = 0°$; $\varphi = \varphi_{max}$ и $\varphi_{ср}$. Перевес казенной части должен быть обеспечен при всех углах.

Регулировка пружинных уравновешивающих механизмов производится путем изменения стрелы предварительного под-

жатия пружин при помощи регулирующей гайки на штоке (тяге).

Регулировка гидропневматических механизмов производится путем изменения количества жидкости (всегда доводить до нормы, указанной в руководстве службы) и давления в цилиндре (основное средство регулировки). В гидропневматическом механизме имеется вентильное устройство (рис. 153) для выпуска лишнего и для добавления недостающего воздуха (при помощи насоса или баллона со сжатым воздухом). Жидкость выпускается через особое отверстие, закрываемое пробкой. Добавление жидкости может производиться как через вентильное устройство, так и через отдельное отверстие (подобно наполнению накатников).

Гидропневматический механизм ввиду его большой чувствительности к изменению температуры требует систематического регулирования.

Сначала необходимо отрегулировать механизм при наибольшем угле возвышения (если расположение механизма позволяет это сделать), а затем при угле возвышения, равном 0°, так как при наибольшем угле возвышения получается наименьшая неуравновешенность качающейся части и наименьшая сила $П_у$. Поэтому целесообразно хранить орудия при наибольшем угле возвышения (будут меньше осадка пружин, потери жидкости и давления).

Для автоматического регулирования сопротивления гидропневматического уравновешивающего механизма используют принципиальную схему регулирования сопротивления накатника в зенитных пушках (клапан, частично перекрывающий отверстие для хода жидкости). Такое решение усложняет конструкцию, но зато значительно улучшает работу механизма.

Примечание. В некоторых системах для обеспечения равенства $Q_к l_к \cos\psi = П_у l_у$ при всех углах возвышения к люльке прикрепляют специальный копир для переменного направления троса, передающего силу $П_у$ на люльку. Рабочая поверхность копира рассчитывается для получения необходимого изменения силы $П_у$ и плеча этой силы $l_у$ соответственно изменению угла возвышения.

ГЛАВА XIV

УСИЛИЯ, ВОЗНИКАЮЩИЕ В РАЗЛИЧНЫХ ЧАСТЯХ ОРУДИЯ ПРИ СТРЕЛЬБЕ

§ 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕАКЦИЙ И СИЛ ТРЕНИЯ НА НАПРАВЛЯЮЩИХ ЛЮЛЬКИ И НА ЗАХВАТАХ СТВОЛА

Откатные массы благодаря своей силе веса вызывают реакции и силы трения на направляющих люльки. Кроме того, все остальные силы, действующие на откатные части и не проходящие через центр тяжести откатных частей, также вызывают реакции и силы трения на направляющих люльки и на захватах.

Известно, что любая сила, действующая на какое-либо тело и не проходящая через его центр тяжести, стремится переместить и повернуть это тело (рис. 158).

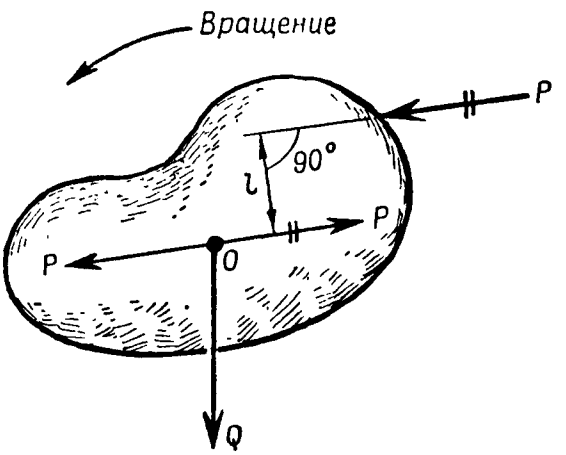


Рис. 158. Схема действия силы на тело; линия действия этой силы не проходит через центр тяжести тела

Величина вращающего момента от силы P, не проходящей через центр тяжести тела O, равна произведению силы на плечо l (расстояние от центра тяжести до направления действия силы — длина перпендикуляра, опущенного из центра тяжести тела на направление действия силы):

$$M = Pl.$$

Силами, действующими на откатные части и стремящимися их повернуть вокруг центра тяжести, являются:

$P_{кн}$ — равнодействующая сил, действующих на ствол внутри канала ствола;

$П$ — сила накатника;

$Ф$ — гидравлическое сопротивление тормоза;

F — равнодействующая сил трения в уплотняющих устройствах тормоза и накатника.

Вращающее действие этих сил уравновешивается действием сил реакции и сил трения, возникающих на поверхностях скольжения.

Условием отсутствия вращения откатных частей орудия вокруг центра тяжести является равенство нулю суммы моментов всех сил (включая реакции и силы трения), действую-

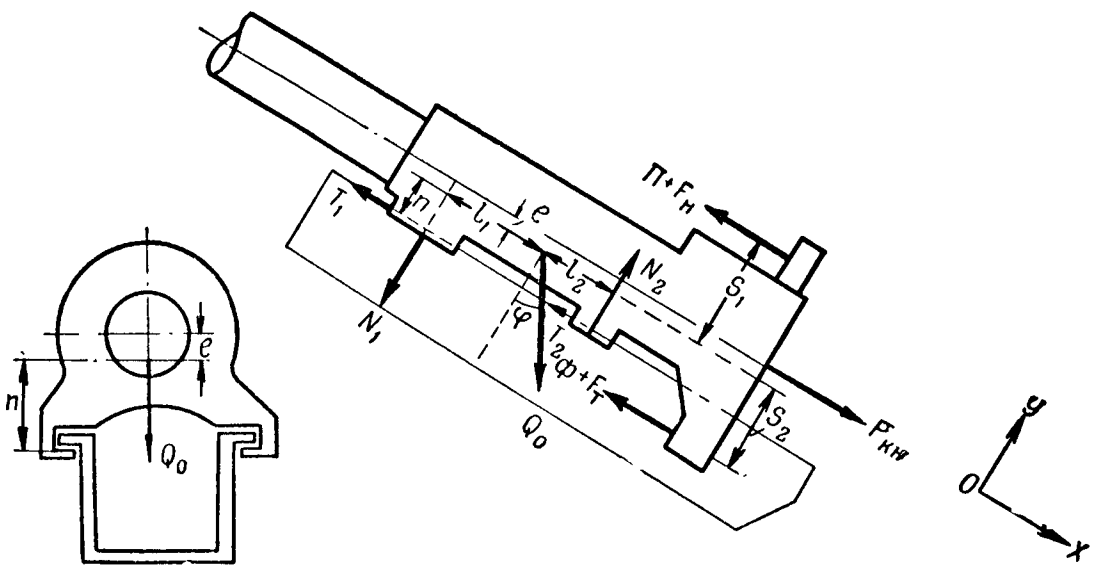


Рис. 159. Схема для определения реакций направляющих люльки на захваты ствола

щих на откатные части, относительно любой точки (рис. 159). Возьмем сумму моментов относительно центра тяжести откатных частей:

$$\sum M_{цт} = P_{кн} \cdot e + (T_1 + T_2)\, n + (\Phi + F_т)\, s_2 - \\ - [N_1 l_1 + N_2 l_2 + (П + F_н)\, s_1] = 0.$$

Условием отсутствия перемещения откатных частей в направлении, перпендикулярном откату (в направлении оси OY), является равенство нулю проекций на это направление всех сил, действующих на откатные части, т. е. $\sum Y = 0$:

$$\sum Y = N_2 - N_1 - Q_0 \cos\varphi = 0.$$

Пояснения:

$T_1 + T_2 = T$;

$F_н$ — трение в уплотняющих устройствах накатника;

$F_т$ — трение в уплотняющих устройствах тормоза;

$F = F_н + F_т$.

Плечи сил относительно центра тяжести откатных частей:

e — для силы $P_{кн}$;

s_1 — для сил $П$ и $F_н$;

s_2 — для сил $Ф$ и $F_т$;

n — для сил T_1 и T_2 (пренебрегаем толщиной направляющих люльки);

l_1 — для реакции на передний захват N_1;

l_2 — для реакции на задний захват N_2.

Направление вращения по часовой стрелке считаем положительным.

Силы трения T_1 и T_2 прямо пропорциональны силам давления на направляющих, т. е. реакциям направляющих люльки N_1 и N_2.

$$T_1 = fN_1,$$

$$T_2 = fN_2,$$

$$T = f(N_1 + N_2).$$

Примем для упрощения вывода о влиянии сил $F_н$ и $F_т$

$$s_1 = s_2 = s \text{ и } F_н = F_т,$$

тогда получим

$$P_{кн} \cdot e + T \cdot n + Ф \cdot s_2 - П \cdot s_1 - N_1 l_1 - N_2 l_2 = 0,$$

или

$$P_{кн} e + (N_1 + N_2) fn + Фs_2 - Пs_1 - N_1 l_1 - N_2 l_2 = 0.$$

Решая два уравнения $\sum M_{цт} = 0$ и $\sum Y = 0$, получим

$$N_2 = N_1 + Q_0 \cos \varphi;$$

окончательный вид формул для нахождения N_1 и N_2:

$$N_1 = \frac{P_{кн} e + Фs_2 - Пs_1 - Q_0 \cos \varphi (l_2 - fn)}{l_1 + l_2 - 2nf};$$

$$N_2 = \frac{P_{кн} e + Фs_2 - Пs_1 + Q_0 \cos \varphi (l_1 - fn)}{l_1 + l_2 - 2fn}.$$

Силы N_1 и N_2 вызывают напряжения в люльке, захватах и вызывают силы трения и износ вкладышей в захватах и направляющих.

Из формул для N_1 и N_2 видно, что для уменьшения этих сил необходимо, чтобы:

а) $Фs_2 = Пs_1$ (при расположении тормоза и накатника на разных сторонах от ствола);

б) $e = 0$;

в) сумма $(l_1 + l_2)$ была больше;

г) n было меньше;

д) коэффициент трения f был уменьшен за счет хорошей обработки, смазки и предохранения от грязи и забоин поверхностей трения.

Зная силы N_1 и N_2, проверяют на прочность захваты ствола, направляющие и корпус люльки.

Примечание. Знаки моментов $(П + F_н)s_1$ и $(Ф + F_т)s_2$ могут меняться при ином расположении накатника и тормоза отката. При обоймленной люльке (например, в танковых пушках) силы N_1, N_2, T можно определять по этим же формулам с учетом конкретных размеров и знаков плеч всех сил и их моментов.

§ 2. УСИЛИЕ НА ЗУБЬЯХ СЕКТОРА ПОДЪЕМНОГО МЕХАНИЗМА И НА ЦАПФАХ ЛЮЛЬКИ ВО ВРЕМЯ ВЫСТРЕЛА

Здесь мы не учитываем неуравновешенность качающейся части (в старых системах центр тяжести почти точно лежит на оси цапф, а у новых систем уравновешивающий механизм дает почти полное уравновешивание).

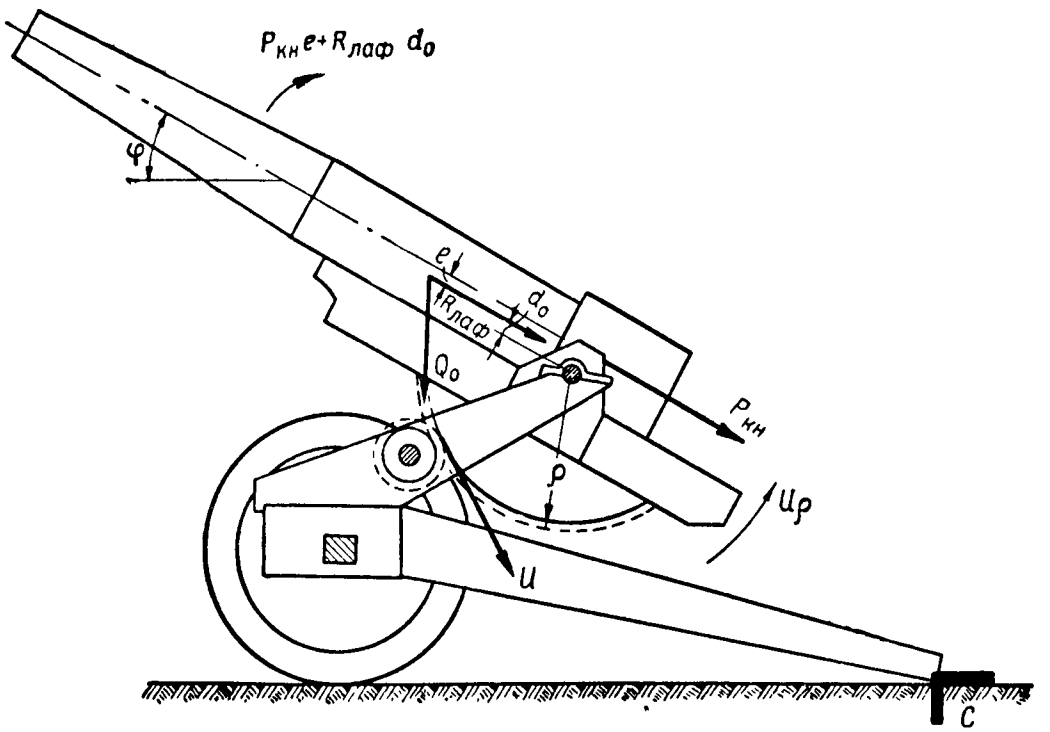


Рис. 160. Схема для определения силы, действующей на сектор подъемного механизма

При выстреле (с учетом вышесказанного) качающуюся часть орудия стремятся вращать вокруг оси цапф (дулом кверху) два момента (рис. 160):

1) момент динамической пары $M_{дин}=P_{кн}e$ (если центр тяжести силы Q_0 ниже оси канала ствола);

2) момент силы $R_{лаф}$, равной по величине сопротивлению откату R,

$$M_{R_{лаф}} = R_{лаф}d_0,$$

где d_0 — плечо силы $R_{лаф}$ относительно оси цапф. Действие двух названных моментов уравновешивает момент силы U, действующей на зубья сектора подъемного механизма,

$$M_{ц} = U\rho.$$

Сила U является реакцией станка на качающуюся часть. ρ — плечо для силы U. Принимаем, что сила U направлена перпендикулярно к линии центров начальных окружностей шестерни и сектора.

Чтобы не было вращения качающейся части, сумма моментов относительно оси цапф должна равняться нулю:

$$\sum M_{ц} = P_{кн}e + R_{лаф}d_0 - U\rho = 0,$$

откуда

$$U = \frac{P_{кн}e + R_{лаф}d_0}{\rho}.$$

Здесь не учтено влияние отката на неуравновешенность качающейся части, но пока $P_{кн}e$ велико, влияние отката пренебрежимо мало.

При откате получается дополнительная неуравновешенность качающейся части относительно оси цапф. Момент дополнительной неуравновешенности

$$Q_0 X \cos\varphi.$$

Наибольшая неуравновешенность качающейся части будет в конце отката при $\varphi = 0°$.

Момент наибольшей неуравновешенности качающейся части за счет перемещения откатных частей равен при $\varphi = 0°$

$$M_{Q_0} = Q_0\lambda,$$

где λ — длина отката.

Наибольшая нагрузка на сектор подъемного механизма во время отката (после действия газов) будет в конце отката при $\varphi = 0°$:

$$U_{\lambda} = \frac{R_{\lambda}d_0 + Q_0\lambda}{\rho},$$

где R_{λ} — сопротивление откату в конце отката.

Благодаря нежесткости связи в зубчатом зацеплении подъемного механизма и благодаря упругим деформациям сектора и вала с шестерней (вал работает как стержень подрессоривания) действительная сила U значительно меньше величины, определяемой по формуле, в которую входит момент $P_{кн}e$ полностью.

На основании опытных данных можно принять (при расчете без учета пружинящего действия вала), что момент динамической пары передается на зубья подъемного механизма только одной третью своей величины. Поэтому U можно рассчитывать по формуле

$$U = \frac{\frac{1}{3}(P_{\text{кн. max}} \cdot e) + Rd_0}{\rho}.$$

Если $e = 0$, расчет зубьев подъемного механизма производят на величину U_λ.

Чтобы уменьшить усилие U в зубчатом зацеплении подъемного механизма при выстреле, можно:

а) увеличить радиус сектора ρ, но так, чтобы это не вызывало увеличения высоты линии огня;

б) уменьшить плечо динамической пары e до нуля;

в) уменьшить плечо силы R, т. е. расположить цапфы на уровне центра тяжести откатных частей.

У сектора подъемного механизма проверяют зубья на изгиб, смятие и срез от силы U. При двух секторах брать силу $\frac{U}{2}$.

Цапфу рассчитывают на изгиб, как балку, заделанную одним концом и нагруженную на свободном конце силой $\frac{Q_к + R_{\max}}{2}$. Подшипники цапф проверяют на удельное давление (на смятие).

§ 3. РЕАКЦИИ, ДЕЙСТВУЮЩИЕ ВО ВРЕМЯ ВЫСТРЕЛА НА ВРАЩАЮЩУЮСЯ ЧАСТЬ ОРУДИЯ

Рассмотрим орудие с двумя станками. Верхний станок возьмем со штырем (рис. 161).

На штырь действуют три реакции со стороны нижнего станка — две горизонтальные S_1 (верхняя) и S_2 (нижняя) и одна вертикальная S.

Наибольшее значение горизонтальных реакций будет при $\varphi = 0°$, а наибольшее значение вертикальной реакции будет при наибольшем угле возвышения ($\varphi = \varphi_{\max}$).

Разберем условия равновесия верхнего станка при выстреле при $\varphi = 0°$.

Силами, действующими при выстреле на вращающуюся часть орудия и вызывающими реакции S, S_1 и S_2, являются:

$R_{\text{лаф}}$ — равная по величине сопротивлению отката, и

$Q_в$ — вес вращающейся части орудия.

При наличии динамического плеча e динамическая пара $P_{кн}e$ стремится вращать верхний станок, что также влияет на величины реакций.

При откате центр тяжести вращающейся части перемещается, но при исследовании величин реакций за время действия динамической пары перемещением центра тяжести $Q_в$ можно пренебречь (ввиду малости этого перемещения). Принимаем центр тяжести откатных частей ниже оси канала

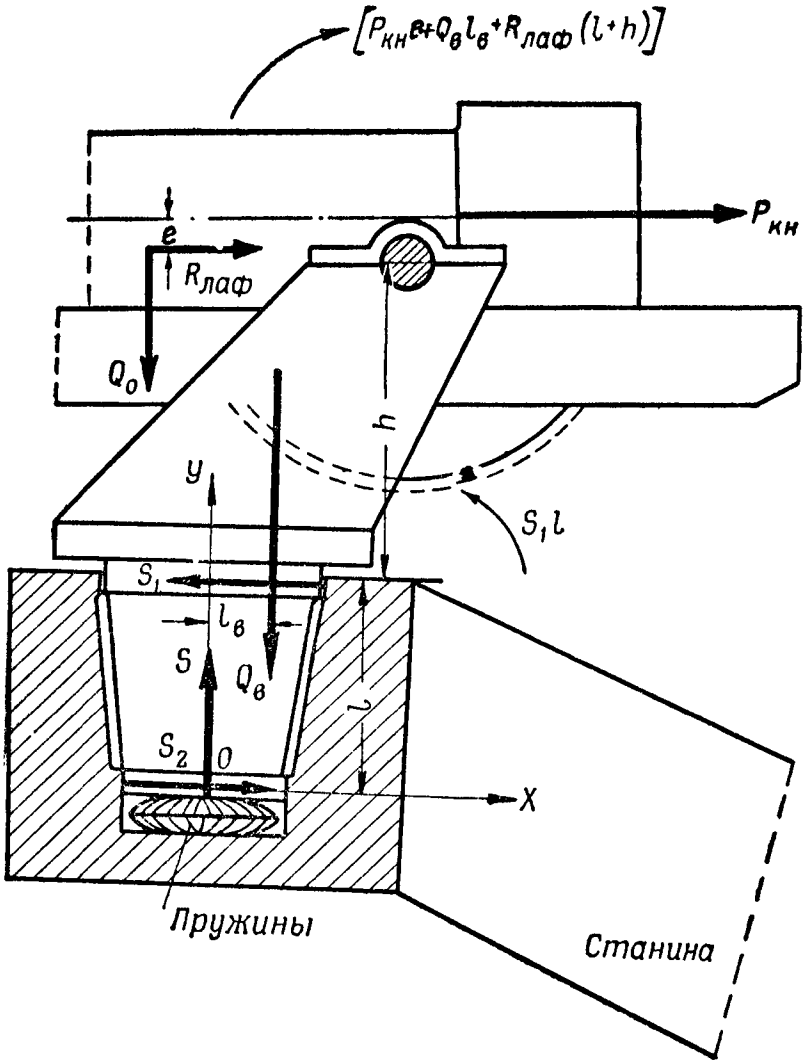


Рис. 161. Схема для определения реакций при выстреле, действующих на вращающуюся часть орудия

ствола, в противном случае следует изменить знак перед $P_{кн}e$. Напишем условия равновесия верхнего станка при горизонтальном положении оси ствола, т. е. при $\varphi = 0$:

1. Условие отсутствия вращения вокруг точки O (пересечение линий сил S и S_2), считая, что $R_{лаф}$ проходит через ось цапф:

$$\sum M_0 = P_{кн}e + R_{лаф}(h + l) + Q_в l_в - S_1 l = 0,$$

откуда

$$S_1 = \frac{P_{кн}e + R_{лаф}(h + l) + Q_в l_в}{l}.$$

2. Условие отсутствия перемещения верхнего станка в горизонтальном направлении $\sum X = 0$:

$$\sum X = R_{\text{лаф}} + S_2 - S_1 = 0,$$

откуда

$$S_2 = S_1 - R_{\text{лаф}}.$$

3. Условие отсутствия перемещения станка в вертикальном направлении $\sum Y = 0$ при $\varphi = 0$:

$$\sum Y = S - Q_{\text{в}} = 0,$$

откуда

$$S = Q_{\text{в}}.$$

Наибольшее значение вертикальной реакции S будет при наибольшем угле возвышения и определится из условия отсутствия вертикального перемещения станка при $\varphi = \varphi_{\max}$.

$$\sum Y = S_{\max} - R_{\text{лаф}} \sin \varphi_{\max} - Q_{\text{в}} = 0.$$

Поэтому

$$S_{\max} = R \sin \varphi_{\max} + Q_{\text{в}}.$$

Для уменьшения сил S_1 и S_2 нужно уменьшить:
а) динамическое плечо e;
б) плечо $l_{\text{в}}$ силы $Q_{\text{в}}$;
в) расстояние h (высота щек верхнего станка).

§ 4. О РАСЧЕТЕ СТАНИН ЛАФЕТА

Станины обычно рассчитывают на изгиб и сжатие от реакций опор $N_{\text{хб}}$ и $T_{\text{хб}}$ (см. § 11 гл. II, раздел третий). Проверку делают минимум в трех сечениях: у сошника, у станка и посредине станины.

Сначала рассмотрим станок одностаниннный (или однобрусный), у которого плоскость стрельбы совпадает с вертикальной плоскостью симметрии станины (рис. 162). Для любого поперечного сечения станины (I—I), перпендикулярного оси станины, момент изгибающий определяется по формуле

$$M_{\text{станины}} = T_{\text{хб}} y - N_{\text{хб}} x.$$

Если лафет имеет две-три или четыре станины, то допустимо для каждой станины брать вместо целых $T_{\text{хб}}$ и $N_{\text{хб}}$, вычисленных по формулам однобрусного лафета, 0,85 $T_{\text{хб}}$ и 0,85 $N_{\text{хб}}$.

Наибольшая нагрузка на данную станину во время стрельбы из орудия с несколькими станинами будет при стрельбе в направлении, параллельном данной станине.

Плечи y и x можно определить в зависимости от угла α (между осью станины и горизонтом) и от расстояния l вдоль станины от сошника до расчетного сечения по формулам:

$$x = l\cos\alpha$$

и

$$y = l\sin\alpha + \Delta H,$$

где ΔH — половина высоты сошника.

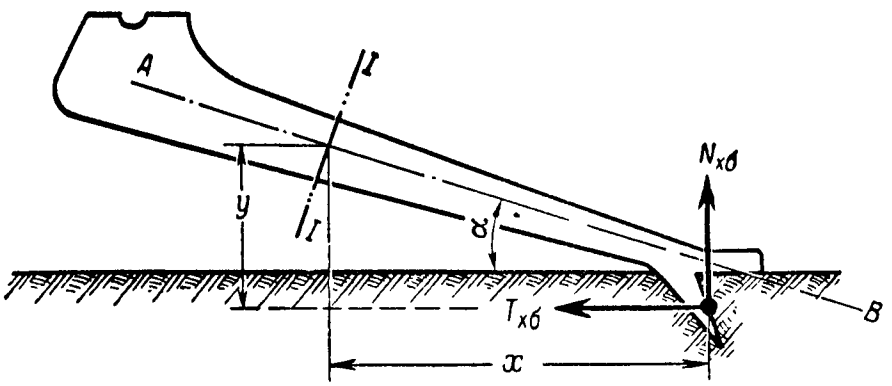


Рис. 162. Схема к расчету станины

Составляющие сил $N_{хб}$ и $T_{хб}$, параллельные оси станины, будут сжимать станину. Общая сила $S_с$, сжимающая станину, будет равна

$$S_с = N_{хб}\sin\alpha + T_{хб}\cos\alpha.$$

Напряжения от изгиба для одностанинного лафета

$$\sigma_{изг} = \frac{M_{станины}}{W_{станины}} = \frac{T_{хб}y - N_{хб}x}{W_{станины}},$$

а для многостанинного лафета

$$\sigma_{изг} = \frac{M_{станины}}{W_{станины}} = \frac{0{,}85\,(T_{хб}y - N_{хб}x)}{W_{станины}}.$$

Здесь $W_{станины}$ — момент сопротивления изгибу одной станины.

Напряжение от сжатия ($F_{станины}$ — площадь сечения станины в данном месте)

$$\sigma_z = \frac{N_{хб}\sin\alpha + T_{хб}\cos\alpha}{F_{станины}}$$ для одностанинного лафета,

$$\sigma_z = \frac{0{,}85\,(N_{хб}\sin\alpha + T_{хб}\cos\alpha)}{F_{станины}}$$ для многостанинного лафета.

Напряжения станин от собственного веса незначительны.

Суммарное напряжение в данном сечении станины и условие прочности

$$\sigma_{\text{сумм}} = \sigma_{\text{изг}} + \sigma_z \leq \frac{\sigma_e}{3}.$$

Эти напряжения будут на верхней поверхности станины, если $N_{\text{хб}} x > T_{\text{хб}} y$, и на нижней, если $T_{\text{хб}} y > N_{\text{хб}} x$.

Запас прочности принимается равным трем. Для выявления наибольших напряжений расчет принято вести для трех углов возвышения: $\varphi = 0°$; $\varphi = \varphi_{\max}$ и $\varphi = \frac{\varphi_{\max}}{2}$.

ГЛАВА XV

ЛАФЕТ КАК ПОВОЗКА

§ 1. ДЕЛЕНИЕ ЛАФЕТОВ НА ГРУППЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПРИСПОСОБЛЕННОСТИ ИХ К ПЕРЕДВИЖЕНИЮ

Артиллерийские орудия в зависимости от их приспособленности к передвижению (соответственно их назначению) делятся на три группы:

1) приспособленные к передвижению;
2) неприспособленные к передвижению;
3) перемещающиеся вместе с объектами, в которых они установлены.

К первой группе относятся все орудия современной войсковой артиллерии, подавляющая масса зенитной и противотанковой артиллерии.

Ко второй группе относятся орудия, специально приспособленные для установки в оборонительных сооружениях, в крепостях, а также стационарные орудия, предназначенные для обороны каких-либо важных пунктов страны.

Третью группу составляют орудия танковой, авиационной, корабельной и железнодорожной артиллерии.

§ 2. ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ЛАФЕТУ КАК ПОВОЗКЕ

Наиболее важными требованиями являются следующие:

1) Высокая проходимость по дорогам всех типов, по мостам, по неровной местности, вброд.

2) Способность передвигаться с большой скоростью без расстройства и разрушения механизмов.

3) Легкость на ходу (на перевозку орудия затрачиваются сравнительно небольшие усилия).

4) Поворотливость, т. е. способность поворачиваться и обходить препятствия на небольшом участке местности (рис. 163).

5) Устойчивость при перемещении по косогорам (рис. 164).

6) Гибкость продольная и поперечная, т. е. способность

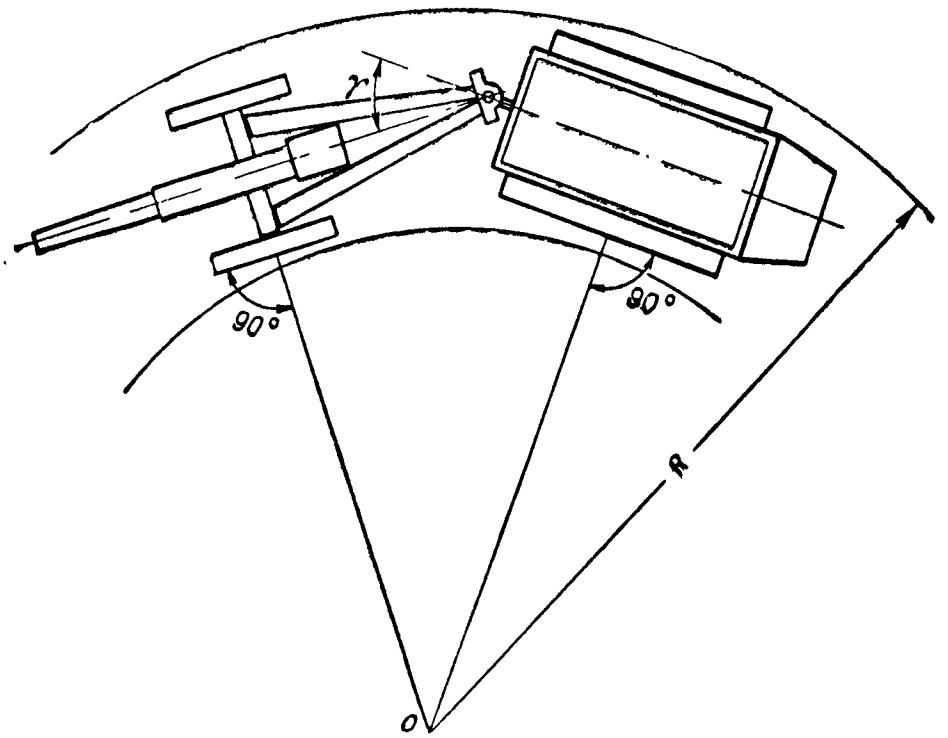


Рис. 163. Схема, поясняющая поворотливость лафета как повозки. Угол γ — мера поворотливости

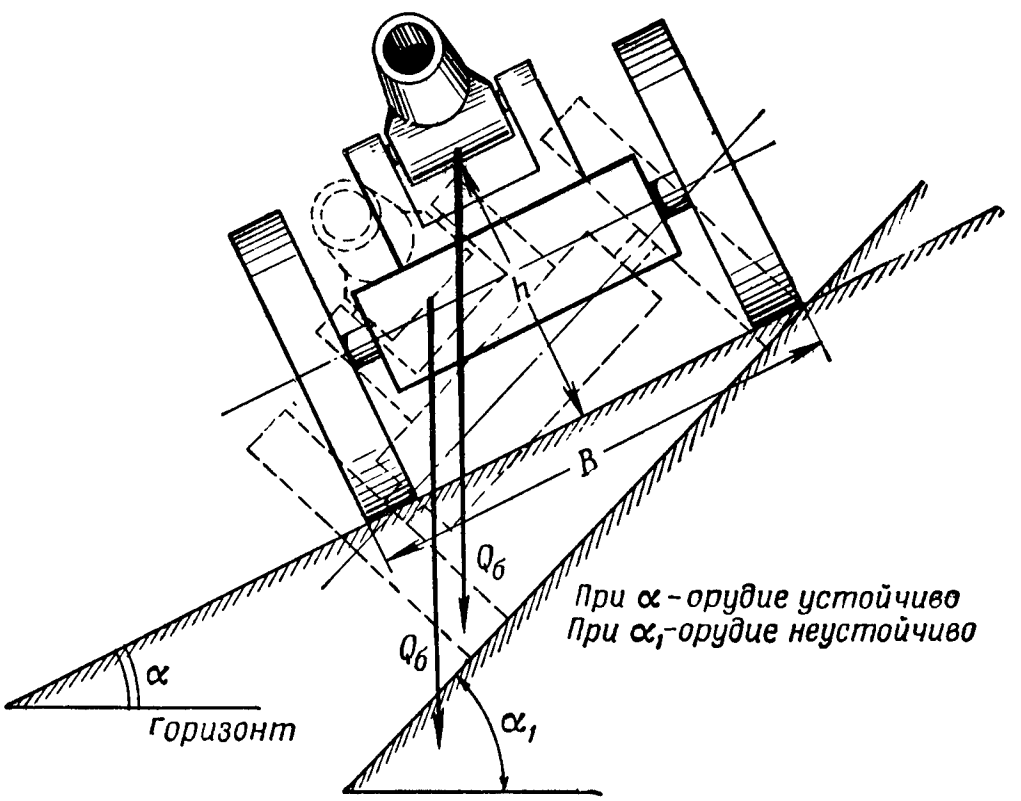


Рис. 164. Схема, поясняющая устойчивость повозки на походе. Угол α — мера устойчивости

преодолевать продольные и поперечные неровности местности (рис. 165 и 166).

7) Живучесть, т. е. способность выдерживать продолжительные переходы с различными скоростями передвижения без понижения боевых свойств орудия.

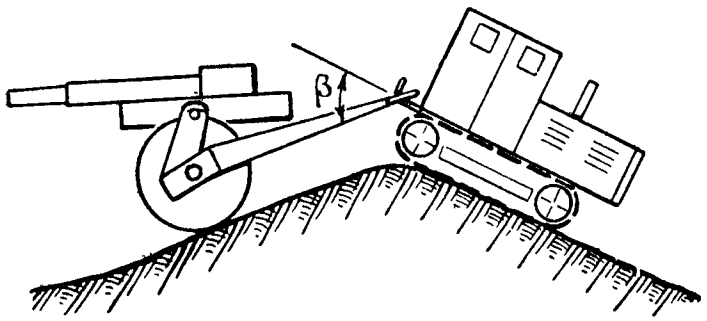


Рис. 165. Схема, поясняющая продольную гибкость повозки на походе. Угол β — мера продольной гибкости

8) Быстрота перехода из походного положения в боевое и обратно.

9) Небольшие усилия, необходимые для перевода системы из походного положения в боевое и обратно.

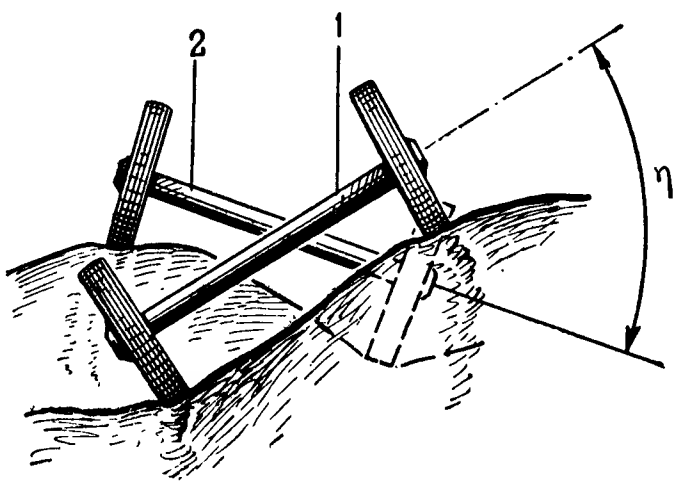


Рис. 166. Схема, показывающая независимость ходов или поперечную гибкость повозки на походе; угол η — мера поперечной гибкости; *1* и *2* — оси ходов повозки

10) Безопасность движения в случае нарушения связи лафета с тягачом (срыв с крюка или разрыв крюка, цепи и т. п.).

11) Приспособленность орудий полевой артиллерии к перекатыванию на поле боя на небольшие расстояния силами орудийного расчета.

12) Удобство и простота обслуживания орудия на походе.

13) Удобство и безопасность размещения орудийного расчета, если предусмотрено размещение людей на лафете.

14) Приспособленность всех орудий к перевозке по железной дороге, на паромах, пароходах, баржах и грузовиках.

15) Приспособленность орудий батальонной, полковой и дивизионной артиллерии (желательно и корпусной) к перевозке механической и конной тягой и самолетами.

16) Возможность разборки орудий батальонной и полковой артиллерии на отдельные агрегаты для перевозки и для переноски на руках (легкость разборки).

§ 3. ПОНЯТИЕ О НЕКОТОРЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ МЕРОПРИЯТИЯХ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ВЫПОЛНЕНИЕ ТРЕБОВАНИЙ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫХ К ЛАФЕТУ КАК ПОВОЗКЕ

1. Высокая проходимость орудия достигается:

а) малым удельным давлением на грунт путем применения широких шин или двойных колес, большего числа осей или гусеничного хода;

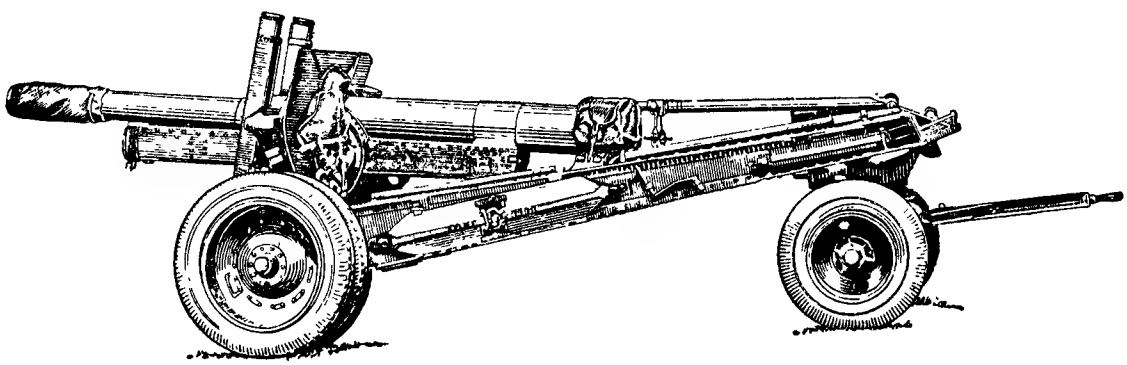


Рис. 167. Орудие в походном положении с оттянутым назад по люльке стволом

б) хорошим сцеплением с грунтом благодаря применению шин с выступами;

в) уменьшением нагрузки на ось повозки (использование повозки с несколькими осями или нескольких повозок при раздельной перевозке орудия). При наличии двух осей для уменьшения нагрузки на одну ось необходимо оттягивать ствол назад (например, 152-*мм* гаубица-пушка, рис. 167);

г) увеличением клиренса; желательно иметь клиренс не менее 300 *мм*

2. Способность орудия двигаться с большими скоростями достигается:

а) применением подрессоривания;

б) применением специальных устройств для соединения лафета с тягачом (с передком), исключающих возможность разъединения орудия с тягачом во время движения и обеспе-

чивающих гибкость соединения и безударную передачу усилий от тягача к орудию;

в) надежным креплением механизмов по-походному; в особенности это относится к подъемному и поворотному механизмам и прицельным устройствам;

г) достаточной прочностью деталей.

Примечание. Перевозку с большими скоростями неподрессоренных орудий целесообразно производить на грузовиках или на подрессоренных тележках и платформах.

3. Легкость на ходу достигается подрессориванием орудия и применением колес большого диаметра с широкими резиновыми шинами и с подшипниками качения.

Легкость на ходу характеризуется величиной силы тяги $P_т$ при движении орудия без ускорения, т. е. при преодолении сил трения ($f_п Q_{пох} \cos \alpha$), и составляющей веса в направлении движения ($Q_{пох} \sin \alpha$). Величина силы тяги $P_т$ определяется по формуле

$$P_т = f_п Q_{пох} \cos \alpha + Q_{пох} \sin \alpha,$$

где α — угол подъема полотна дороги;

$f_п$ — общий коэффициент трения качения повозки[1] по полотну дороги, принимаемый для грунтовых дорог равным 0,08—0,16, по сыпучему песку 0,15—0,30;

$Q_{пох}$ — вес повозки (вес орудия в походном положении).

4. Поворотливость характеризуется наибольшей величиной угла, на который может повернуться передний ход относительно хоботовой части лафета (см. рис. 163 — угол γ).

Поворотливость достигается применением шворневого соединения ходов, увеличением ширины хода, уменьшением диаметра колес переднего хода и уменьшением ширины хоботовой части лафета, охватываемой колесами передка.

В дивизионной артиллерии угол поворотливости примерно равен 90°.

5. Для увеличения устойчивости на походе (см. рис. 164) необходимо, чтобы ход был как можно шире, а центр тяжести системы был расположен как можно ниже.

Система будет оставаться устойчивой до тех пор, пока вертикальная линия, проходящая через центр тяжести орудия (в походном положении), не выйдет за пределы опоры колес. Предельное значение угла устойчивости $\alpha_{пред}$ при данной ширине хода B и расстоянии от основания до центра тяжести h определяется тангенсом угла $\alpha_{пред}$:

$$\operatorname{tg} \alpha_{пред} = \frac{B}{2h}.$$

[1] Значение $f_п$ указывается в справочниках.

Эта формула не учитывает влияния сил инерции, направленных в сторону опрокидывания, что имеет место при движении на поворотах.

На практике принимают надежный угол устойчивости ($\alpha_{доп}$) равным половине предельного:

$$\alpha_{доп} = 0{,}5\,\alpha_{пред}.$$

Угол $\alpha_{доп}$ должен быть не менее 30°.

6. Для увеличения продольной и поперечной гибкости применяют шарнирное шворневое устройство, обеспечивающее возможность вращения переднего хода вокруг двух горизонтальных осей — поперечной (для продольной гибкости) и продольной (для поперечной гибкости).

Угол поперечной гибкости η или независимости ходов определяется углом в вертикальной плоскости (параллельной оси заднего хода) между проекциями осей переднего и заднего ходов.

Угол продольной гибкости β определяется отклонением стрелы (или дышла) переднего хода в вертикальной плоскости относительно оси станины.

В дивизионной артиллерии угол продольной гибкости доходит до 60°, а поперечной до 50°.

7. Для повышения живучести орудия на походе применяют:

а) подрессоривание орудия и передка;

б) надежное крепление подъемного и поворотного механизмов по-походному;

в) тщательное фиксирование (применение контргаек, шпилек, чек и т. п.) всех деталей, могущих перемещаться при тряске на походе;

г) надежную постоянно действующую систему смазки;

д) механизмы взаимозамкнутости, исключающие возможность произвести выстрел из орудия, неправильно собранного при переходе в боевое положение.

8. Быстрота перехода из походного положения в боевое и обратно обеспечивается.

а) расположением агрегатов, при котором требуется небольшое подъемное усилие людей для разъединения или соединения шворневой лапы станин со шворнем передка (или крюком тягача);

б) применением простейшей конструкции крепления шворневой лапы со шворнем (крюком), не требующей инструментов, приспособлений и больших усилий для освобождения лапы от шворня (крюка) и не допускающей самопроизвольного освобождения шворневой лапы от шворня (крюка) на походе (надежное фиксирующее устройство);

в) применением специальных приспособлений и механизмов (лебедки, краны, домкраты и т. д.) в тяжелых системах при разборке их на части.

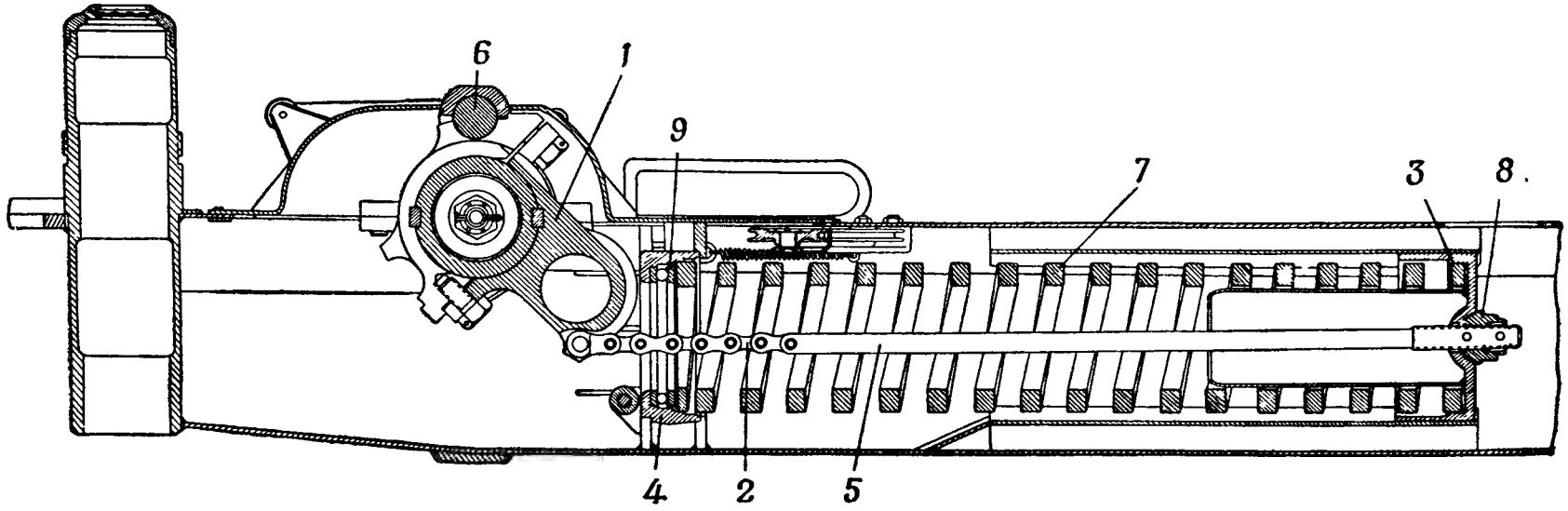


Рис. 168. Механизм перевода 85-*мм* зенитной пушки обр. 1939 г. из походного положения в боевое и обратно (разрез):

1 — кулак; *2* — цепь роликовая, собранная; *3* — крышка со стаканом; *4* — опора пружины; *5* — тяга; *6* — валик стопорный; *7* — пружина; *8* — гайка тяги; *9* — упорный шарикоподшипник

Пояснение. Механизм собран в продольной станине лафета. Кулак *1* закреплен шпонками на оси, которая при переходе орудия в боевое положение вращается по часовой стрелке и при помощи деталей *1*, *2*, *5*, *8* и *3* сжимает пружину *7*. Работу по сжатию пружины *7* производит сила веса орудия, чем обеспечивается плавность опускания орудия. При переходе в походное положение энергия пружины *7* расходуется на подъем орудия

9. Мероприятия для облегчения работ при переводе из походного положения в боевое и обратно орудий большого веса следующие:

а) на системах устанавливают специальные механизмы — компенсаторы веса (рис. 168), являющиеся своеобразными уравновешивающими механизмами всей поднимаемой при переходе в походное положение части орудия (например, у 85-*мм* зенитной пушки).

Компенсаторы веса представляют собою мощные пружины, сжимающиеся при опускании орудия и разжимающиеся при его подъеме. Они могут быть и пневматическими.

Компенсаторы веса устанавливаются либо на раме отделяемого хода, либо внутри лафета;

б) механизмы крепления по-походному применяют наипростейшие, не требующие каких-либо специальных инструментов или больших усилий;

в) конструкция системы должна позволять устанавливать орудие по-боевому на неровной площадке (без производства работ по выравниванию местности).

10. Для обеспечения безопасности движения и сохранения материальной части в случае разрыва связи орудия с тягачом на орудие устанавливают специальные механизмы автоматического торможения.

11. Для того чтобы орудия полевой артиллерии были приспособлены для перекатывания их на поле боя вручную:

а) уменьшают вес орудия в боевом положении;

б) располагают агрегаты так, чтобы надавливающее усилие на хоботовую часть станин было возможно меньше;

в) делают поручни на станинах и на дисках колес, ставят на станины катки и т. д.;

г) ставят колесные тормозы с ручными приводами и специальные упоры для автоматического торможения системы при случайном ее скатывании вниз по наклонной поверхности.

12. Для того чтобы орудия были приспособлены к различным перевозкам (по железной дороге, водным, воздушным и автотранспортом), габариты орудия должны быть согласованы с требованиями транспорта, орудие должно оставаться прочным и вполне исправным при любом поворачивании его с помощью крана и конструкция орудия должна быть удобна для крепления к платформе.

§ 4. УСТРОЙСТВО ХОДОВЫХ ЧАСТЕЙ ОРУДИЯ

К основным ходовым частям орудия относятся: боевая ось, колеса и подрессоривание с механизмами выключения.

Боевая ось воспринимает большие нагрузки при выстреле и на походе. В лафетах с откатом орудия в направлении оси ствола усилия, передающиеся на боевую ось при выстреле, бывают нередко меньше усилий, которые действуют на боевую

ось при большой скорости передвижения. Поэтому в таких системах лафетов необходимо рассчитывать ось на усилие, возникающее при передвижении системы (на изгиб). Прочность боевых осей может быть обеспечена путем увеличения их поперечного сечения, но в этом случае оси получаются тяжелыми.

Для уменьшения веса осей при сохранении их прочности подбирают для них материал с высокими механическими свойствами (предел упругости, пластичность, ударная вязкость) и с малым изменением свойств (в первую очередь ударной вязкости) при изменении температуры (от — 60° С до +100° С).

При расчете боевых осей на нагрузку во время выстрела запас прочности принимают не менее 3, а при расчете на нагрузку во время передвижения (на усилие, равное трем боевым весам орудия) — не менее 2,5—3. Поперечное сечение боевой оси, как правило, имеет вид прямоугольника, бóльшая сторона которого расположена вертикально.

В настоящее время в нашей артиллерии получило большое распространение стержневое подрессоривание. При стержневом подрессоривании ось состоит из двух стержней (или полуосей — коротких или длинных параллельных стержней). Каждый стержень одной головкой соединен с нижним станком, а другой головкой с колесом. В этом случае каждая полуось воспринимает нагрузку от одного колеса и половину нагрузки от веса орудия.

При расчете боевой оси на одинарную симметричную нагрузку от веса орудия запас прочности принимается равным 8—10.

Шейки оси (места опор колес) проверяются на смятие и срез.

Расчет боевой оси на нагрузку при выстреле обязателен (запас прочности не менее 3).

За расчетную нагрузку, действующую на боевую ось во время выстрела, ориентировочно можно принять силу сопротивления откату R. При этом будет обеспечена прочность оси при самых неблагоприятных условиях стрельбы для боевой оси (в том числе и при $\varphi = 90°$).

Колеса. С начала появления колесных лафетов и до конца первой мировой войны (1914—1918 гг.) применялись деревянные колеса с металлическими шинами (сначала железными, а затем стальными). С массовым переходом артиллерии на механическую тягу встал вопрос о приспособлении материальной части к перевозке с большими скоростями. Потребовались более прочные и более приспособленные для передвижения по различным дорогам колеса.

В настоящее время с большим успехом применяются стальные дисковые колеса с резиновыми шинами и с шариковыми (или роликовыми) подшипниками.

Сначала для артиллерии конструировали специальные колеса, а затем стали использовать автомобильные колеса с некоторыми конструктивными изменениями.

Шины артиллерийских колес в отличие от автомобильных шин заполнены резиновой массой (ГК), в результате чего сильно увеличилась их живучесть в боевой обстановке. Колеса тяжелых орудий снабжены шиной в виде сплошной резиновой ленты.

При подборе колес необходимо учитывать: нагрузку на колесо и скорость движения орудия; давление на 1 $см^2$ опорной поверхности и на единицу ширины шины при наибольшей нагрузке, а также диаметр колеса. Давление колеса на грунт не должно превосходить 4—5 $кг/см^2$. Нагрузка на колесные шины не должна превосходить 40—65 *кг* на 1 *см* ширины шины.

Для примера приведем данные двух типов колес.

Тип колеса	Наружный диаметр колеса *мм*	Ширина профиля шины *мм*	Допускаемая нагрузка на колесо *кг*	Давление на единицу опорной поверхности $кг/см^2$	Наибольшая допустимая скорость *км/час*	Вес колеса *кг*
ГАЗ-А	790	150	400	2,5	40	41
ЗИС-5	910	195	1100	5,0	40	112

Если нагрузка на колесо превосходит допустимую величину для автомобильных колес, приходится применять специальные колеса.

Подрессоривание. При быстром движении по неровной дороге орудие испытывает сильные удары (толчки), стремящиеся затормозить и изменить направление движения.

Удары действуют на все детали орудия и создают значительные напряжения, которые могут оказаться разрушающими.

Сила удара зависит от веса и устройства орудия, скорости его движения, высоты и формы препятствия. При одной и той же высоте или глубине препятствия наиболее вредное действие оказывает на орудие препятствие, выступающее вверх, если его преодолевать с большой скоростью.

Подрессоривание, являясь упругой связью между ходовой частью и остальной массой орудия, изменяет характер передачи действия препятствия на орудие, уменьшает силу удара и тем обеспечивает возможность передвижения орудия без повреждений. При этом основная масса подрессоренного орудия при преодолении препятствия не должна опускаться или подниматься на всю высоту препятствия.

Время передачи удара препятствия на основную массу орудия через подрессоривание значительно больше времени жест-

кого удара по неподрессоренному орудию. У неподрессоренного орудия при ударе все детали испытывают одно общее ускорение.

При одинаковом импульсе удара сила, действующая на массу подрессоренной части орудия, будет тем меньше, чем больше времени потребуется на передачу удара через подрессоривание.

Подрессоривание обычно сводится к применению упругого элемента, помещаемого между ходом и нижним станком орудия. Наличие упругого элемента обеспечивает плавное нарастание силы, действующей со стороны препятствия на подрессоренную часть орудия. В качестве такого упругого элемента служат:

1. Пластинчатые (или листовые) полуэллиптические рессоры. В зависимости от расположения они могут быть поперечные или продольные.

2. Цилиндрические пружинные рессоры. В зависимости от передачи усилий от ходовой части они могут быть с кривошипной, рычажной и непосредственной передачей; в зависимости же от размещения пружин они подразделяются на горизонтальные, вертикальные и наклонные.

3. Торсионные или стержневые рессоры. Конструкция этих рессор сравнительно простая. Каждое колесо имеет свою рессору — стержень. Один конец стержня закрепляется в станке, а на другой (наружный) конец крепится кривошип с полуосью колеса. При переходе через препятствие колесо поднимается кверху и происходит вращение кривошипа и скручивание стержня.

Подрессоривание независимо от его конструкции должно отличаться небольшой жесткостью, обладать способностью быстро поглощать колебательные движения орудия от толчков и надежно действовать при различных направлениях ударов препятствий на дороге (станок орудия должен иметь возможность перемещаться относительно оси колес в трех направлениях: вперед-назад, вверх-вниз, вправо-влево).

Подрессоривание должно иметь механизмы выключения для стрельбы и для движения со сломанными рессорами. Выключение и включение подрессоривания должно производиться автоматически с переходом орудия из походного положения в боевое и обратно.

Включение и выключение подрессоривания должно быть возможным и без раздвижения станин и даже в походном положении без снятия орудия с передка.

Если выключить подрессоривание, то при стрельбе будут исключены значительные перемещения станка относительно колес и удары в конце сжатия пружин подрессоривания. При выключенном подрессоривании в наших наземных системах сохраняется шарнирная связь станка с боевой осью, что по-

зволяет легко установить орудие сошниками на грунт независимо от небольшого наклона боевой оси.

При включенном подрессоривании во время стрельбы будут происходить колебания станка, так как пружины подрессоривания (рессоры) при толчках успокаиваются не сразу. Вследствие этого затрудняется выполнение наводки и, кроме того, снижаются кучность и меткость стрельбы, а также скорострельность и живучесть орудия.

Стрельба из танков и самоходных установок производится без выключения подрессоривания (механизм выключения отсутствует). Это объясняется особенностями боевой деятельности танков и самоходных установок и их конструктивными особенностями. Отсутствие времени и возможности для переключения подрессоривания у этих систем — одна из причин отсутствия механизмов выключения подрессоривания. Если бы даже удавалось у танков выключать подрессоривание на ходу для стрельбы, то действие толчков на походе было бы более вредным для системы, чем действие толчков при выстрелах. Кроме того, большой вес танков и самоходных установок значительно снижает вредное действие выстрела на механизм подрессоривания и способствует уменьшению колебаний орудия.

В нашей артиллерии наиболее распространенными являются следующие **схемы выключения подрессоривания.**

1. Для полуэллиптических рессор, опирающихся на боевую ось или подвешенных к боевой оси, применяется горизонтальный продольный штырь-засов, шарнирно соединяющий боевую ось с нижним станком. Штырь помещается во втулках станка и в боевом положении проходит через центральное отверстие в оси. Штырь-засов у большинства систем перемещается одновременно с разведением станин (штырь входит в центральное гнездо боевой оси) и со сведением (освобождает боевую ось).

У тяжелых систем штырь-засов перемещается винтовым приводом вручную специальным ключом.

В боевом положении нагрузка от веса орудия и выстрела передается на боевую ось станком через штырь. Поэтому штырь выключения подрессоривания должен быть достаточно прочным. Его нужно рассчитывать на срез, смятие и изгиб. Расчетная сила равна $N_{лб}$—$Q_{хода}$. Наиболее опасная деформация — срез.

2. Для цилиндрических пружин с кривошипной связью между осью колеса и пружиной применяется поперечный горизонтальный засов (для каждого кривошипа свой засов), жестко соединяющий кривошип с боевой осью. У большинства орудий засовы перемещаются вместе с разведением и сведением станин, а у некоторых орудий — вручную отдельным движением засовов.

У всех названных систем боевые оси постоянно шарнирно связаны со станком особым штырем.

При выстреле усилие передается через нижний станок и штырь на боевую ось и далее через засовы на кривошипы и на оси колес.

Засов подвергается деформациям среза, смятия. Штырь боевой оси рассчитывается как штырь механизма выключения полуэллиптического подрессоривания (см. предыдущий пункт).

3. У современных отечественных зенитных орудий выключение подрессоривания достигается вращением ходовых осей с поворотом кривошипов и осей колес вверх, что вызывает опускание всей платформы на грунт (с опорой на четыре точки).

4. В тяжелых орудиях на гусеничном ходу с вертикальными цилиндрическими винтовыми рессорами выключение достигается перемещением вертикальных стаканов (винтовая самотормозящаяся передача), устраняющих свободу перемещения балки гусеницы относительно катков гусениц. У этих систем усилие при выстреле передается через боевую ось на балки гусениц, а затем через стаканы механизмов выключения подрессоривания на каретки ходов и далее через катки на траковые ленты и, наконец, на грунт.

Стаканы (их нарезка) должны быть рассчитаны на срез, смятие и изгиб, как и всякая резьба.

Расчетная сила, действующая на стакан, равна $\frac{N_{лб} - Q_{хода}}{4}$ (при наличии четырех стаканов, по два в каждой гусенице).

РАЗДЕЛ ЧЕТВЕРТЫЙ
ПРИЦЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

ГЛАВА I
ИСТОРИЧЕСКИЙ ОБЗОР РАЗВИТИЯ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ АРТИЛЛЕРИЙСКИХ ПРИЦЕЛОВ

§ 1. РАЗВИТИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ АРТИЛЛЕРИЙСКИХ ПРИЦЕЛОВ ДО ПОЯВЛЕНИЯ НАРЕЗНОЙ АРТИЛЛЕРИИ

Образцы артиллерийских орудий, хранящиеся в Артиллерийском историческом музее, и многочисленные архивные материалы свидетельствуют о том, что прицельные устройства на Руси появились с начала создания артиллерии, т. е. с середины XIV в.

Авторами прицелов, состоявших и состоящих на вооружении русской артиллерии за все время ее существования, являются отечественные артиллеристы. В создании артиллерийских прицелов принимали участие виднейшие ученые России, специалисты в области механики, физики, оптики, математики (Ломоносов, Эйлер, Лейтман, Нартов, Кулибин, Крылов и многие другие).

Простейшим видом прицельных устройств, применявшихся в XIV в., была прицельная линия — прямая, прочерченная на верхней части наружной поверхности ствола. Эта прицельная линия находилась в плоскости стрельбы. Благодаря сужению ствола к дульной части получался некоторый случайный постоянный угол прицеливания. При наводке орудия визирование велось непосредственно на цель вдоль прицельной линии.

В XV в., когда основным типом стволов стал литой ствол и когда значительно повысились баллистические свойства орудий, появились прицельные устройства в виде целика (прорезь на казенной части ствола) и мушки (возвышение в дульной части ствола). Это позволило наводить орудие при наиболее желательном угле прицеливания, а не при случайном угле, зависевшем от очертания ствола.

Мушка и целик имели постоянную высоту, соответствующую необходимому углу прицеливания для стрельбы на наиболее характерную дальность для данного орудия.

Изменение дальности и направления стрельбы производилось посредством выбора соответствующей точки прицеливания.

С увеличением дальности стрельбы потребовалось создать такой прицел, который позволял бы придавать орудию различные углы прицеливания для стрельбы на любое расстояние в пределах наибольшей дальности без изменения точки прицеливания.

Появилась пластическая мушка (из воска). Эту мушку можно было деформировать и тем самым придавать ей различное положение по высоте. Необходимая высота мушки для той или иной дальности стрельбы устанавливалась опытным путем.

Пластическая мушка применялась в XVI в. для орудий, стрелявших прямой наводкой при малых углах прицеливания.

Необходимость обстреливать навесным огнем цели, находящиеся за укрытием в крепостях, заставила артиллеристов создать особый тип орудий — «верховые пушки» (мортиры). Наводка верховых пушек в закрытую цель могла быть только раздельной и непрямой, для чего потребовалось создать новые прицельные устройства. Решение было найдено — для вертикальной наводки был принят в качестве прицельного устройства квадрант. Мортиры с квадрантами применялись в России с XVI в. Описание русских артиллерийских квадрантов того времени и правила применения их для вертикальной наводки имеются в сохранившемся до наших дней «Уставе ратных, пушечных и других дел, касающихся до воинской науки» (1607—1621 гг.), составленном Онисимом Михайловым.

Квадрант в то время имел отвес для обозначения вертикальной линии. На квадранте были две шкалы — градусная и дистанционная. Цена деления дистанционной шкалы — 100 шагов. Угол возвышения для наибольшей дальности полета ядра — 45°.

Для установки квадранта на мортире никакой специальной площадки не делалось. К квадранту вдоль одной стороны его прямого угла крепилась линейка-брус, которая при наводке мортиры вставлялась в ствол с дульной части и прижималась к нижней образующей поверхности канала (вершина прямого угла квадранта совпадала при этом с наружным концом линейки). Сам квадрант располагался в вертикальной плоскости (по отвесу) вершиной прямого угла вверх. Угол возвышения отсчитывался от стороны прямого угла, перпендикулярной к оси канала ствола, до линии отвеса. Шнур отвеса крепился в вершине прямого угла квадранта. При отсчете углов возвышения от внутренней поверхности канала ствола точность вертикальной наводки не зависела от наклона

оси цапф ствола. Для горизонтальной наводки мортира имела целик и мушку.

Следует отметить, что примерно в конце XVI в. русские артиллеристы уже знали о зависимости направления оси наведенного ствола от наклона оси цапф. Поэтому для горизонтирования оси цапф также применялся квадрант. Он устанавливался на цилиндрический шест, который укладывали на колеса лафета параллельно боевой оси. Ось цапф ствола была всегда параллельна боевой оси.

В конце XVII в. в артиллерии были введены квадранты с уровнем. Это упростило наводку и дало возможность применять квадрант без длинной рейки и ставить его на наружной площадке ствола, параллельной оси канала.

В связи с улучшением баллистических свойств орудий, а также в связи с повышением маневренности артиллерии появилась необходимость иметь такой прицел, при помощи которого можно было бы быстро наводить орудие и вести стрельбу на различные дальности. Такой прицел был создан. Он получил название стоечного прицела.

Первые образцы стоечного прицела состояли из основания, прикрепляемого винтами к казенной части ствола, шарнирно соединенного с ним диоптра (пластинка с двумя отверстиями) и мушки на дульной части ствола. Диоптр можно было поднимать и опускать. При поднятом диоптре визировали или через верхнее, или через нижнее отверстие и таким образом получали два значения угла прицеливания. При опущенном диоптре визирование велось через прорезь; это давало возможность получить третье значение угла прицеливания. Диоптрийный шарнирный стоечный прицел находился на вооружении русской артиллерии во второй половине XVIII в. В этом прицеле не было приспособления для построения бокового угла прицеливания.

В первой половине XVIII в. в период реорганизации русской артиллерии, проводившейся Петром I, конструированием и улучшением прицелов занимались виднейшие русские ученые того времени [1].

Известный ученый и изобретатель А. К. Нартов сконструировал, рассчитал и создал первый в мире артиллерийский оптический прицел с отвесом для прямой и непрямой наводки. Точная дата изобретения этого прицела еще не установлена, но краткая его характеристика дана в описании изобретений Нартова, изданном в 1741 г.

Оригинальный оптический прицел для стрелкового оружия изобрел в первой половине XVIII в. профессор Петербургской

---

[1] В 1954 г. обнаружена рукопись руководства русской артиллерии по стрельбе во времена Петра I с описанием отечественных дуговых прицелов со шкалами в градусах.

Академии наук Лейтман И. Г. Его прицел был приспособлен только для прямой наводки.

В конце XVIII в. крупнейший русский ученый артиллерист А. И. Маркевич разработал первый универсальный (годный для различных орудий) стоечный прицел со шкалой углов прицеливания и с целиком, который можно было передвигать в вертикальной плоскости. В этом целике было два

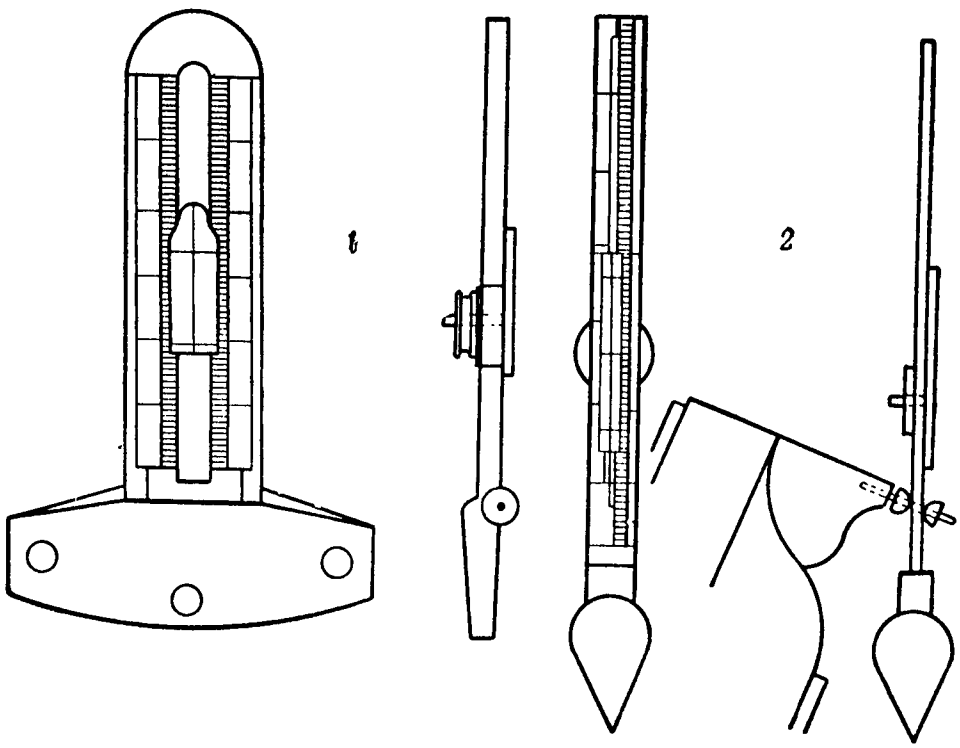


Рис. 169. Прицелы:

1 — некачающийся стоечный прицел системы Маркевича; *2* — качающийся прицел маятникового типа (стоечный прицел системы Кабанова). У обоих прицелов целики могут перемещаться в вертикальной плоскости (вдоль стоек)

визирных отверстия (для увеличения числа установок угла прицеливания). Стойка прицела, шарнирно соединенная с основанием прицела, привинченным к казенной части ствола, при боевом положении поднималась, а при походном положении опускалась (рис. 169). В стойке прицела имелось продольное окно, по бокам которого были нанесены равные деления в десятых долях дюйма. При наличии такой шкалы можно было использовать этот прицел для различных орудий, для чего надо было только знать, какой дальности стрельбы соответствовало каждое деление. Эти данные определялись по таблицам стрельбы. Прицелы Маркевича были приняты на вооружение полевой и осадной русской артиллерии в 1802 г.

В связи с требованием немедленно открывать точный огонь после занятия огневой позиции без горизонтирования оси цапф орудия был создан в 1809 г. качающийся прицел маятникового типа, автоматически устанавливаю-

щийся вертикально (см. рис. 169). Стебель прицела имел внизу тяжелый груз и мог свободно вращаться вокруг горизонтальной оси, лежащей в плоскости стрельбы. Маятниковый прицел имел шкалу углов прицеливания и подвижной целик, как в прицеле Маркевича. Прицел устанавливался в специальном гнезде в казенной части ствола. Изобретателем качающегося прицела был русский артиллерист Кабанов. Благодаря постоянному вертикальному положению стебля прицела автоматически учитывалась поправка на наклон оси цапф ствола. Маятниковый прицел Кабанова был введен в 1811 г. и состоял на вооружении до 40-х годов XIX в.

Кабанов создал также второй тип качающегося прицела с боковым уровнем и со специальным механизмом поперечного качания прицела при наводке. Но этот прицел не был принят на вооружение, так как его устройство казалось слишком сложным. Однако по прошествии многих лет принцип устройства прицела Кабанова был использован во всех армиях мира.

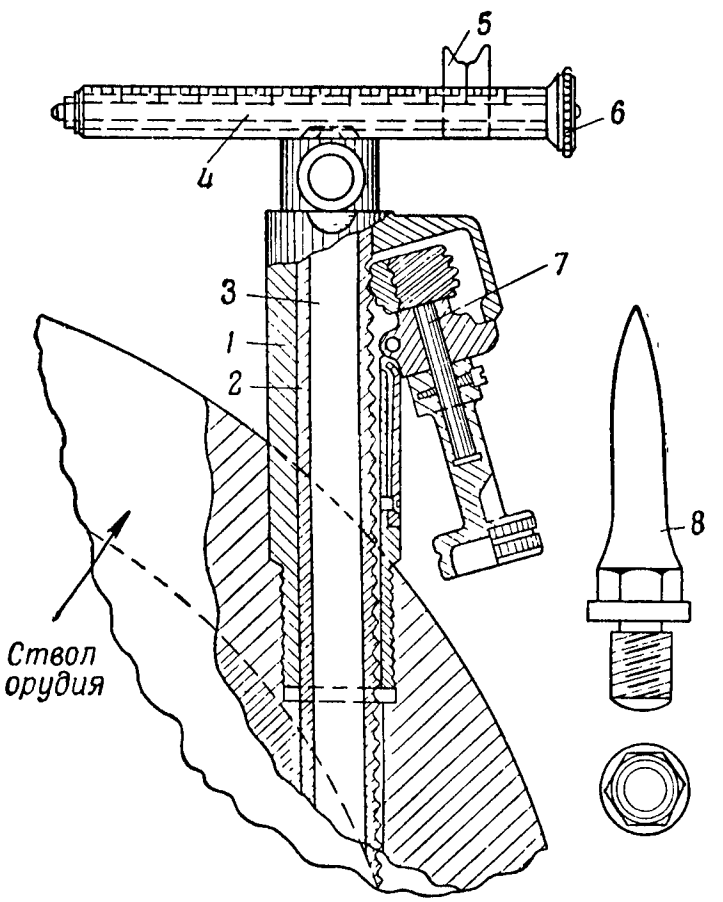


Рис. 170. Некачающийся стоечный прицел Петрушевского с целиком, перемещающимся в вертикальном и горизонтальном направлениях:

1 — основание (втулка) прицела; *2* — наружный стебель прицела с зубчатой рейкой для связи с червяком механизма *7*; *3* — внутренний стебель прицела; *4* — поперечная трубка; *5* — целик; *6* — барабанчик червяка; *7* — подъемный механизм прицела; *8* — мушка

В середине XIX в. русские артиллеристы уделяли очень много внимания усовершенствованию прицелов и созданию новых схем прицельных устройств. В это время были созданы прицелы с двумя шкалами углов прицеливания в вертикальной и горизонтальной плоскостях и с целиком, перемещавшимся в вертикальном и горизонтальном направлениях.

Выдающимся изобретением того времени был прицел Петрушевского (рис. 170). Этот так называемый постоянный боковой прицел (т. е. постоянно находящийся на стволе орудия) был предложен автором в 1853 г. Прицел Петрушевского был стоечного типа с целиком, перемещавшимся в вертикальном и горизонтальном направлениях. Он обеспечивал высокую точность установок вертикального и горизонтального углов прицеливания. Основание прицела *1* крепилось к казенной части ствола, а мушка ввинчивалась в цапфу. Стебель прицела телескопического устройства; он состоит из двух частей *2* и *3*, что дает возможность устанавливать большие углы прицеливания при небольшом габарите прицела в собранном виде. Прицелы Петрушевского облегчали весь процесс наводки и были годны не только для орудий, заряжавшихся с дула, но и для орудий, заряжавшихся с казны. Эти прицелы состояли на вооружении русской артиллерии до XX в.

Следует также сказать и об оригинальных прицелах Бестужева, имевших дистанционные шкалы (что упрощало и ускоряло наводку). Эти прицелы находились на вооружении гладкоствольной горной и полевой артиллерии с 1840 г.

§ 2. ПРИЦЕЛЫ РУССКОЙ НАРЕЗНОЙ АРТИЛЛЕРИИ

Все прицелы русской нарезной артиллерии XIX в. были некачающимися, т. е. они не учитывали ошибку от наклона оси цапф ствола. Наиболее широкое распространение тогда еще имел прицел Петрушевского, применявшийся в гладкоствольной артиллерии. В 1870 г. Будаевский предложил прицел с дистанционными шкалами для различных снарядов. Это было начало перехода к дистанционным шкалам с учетом всех снарядов, применявшихся для стрельбы из данного орудия.

В 1872 г. профессор Артиллерийской академии С. К. Каминский сконструировал новый оригинальный телескопический оптический артиллерийский прицел, который был поставлен на первую в мире скорострельную пушку с противооткатными устройствами системы Барановского. Прицел отлично выдержал все испытания, но широкого применения не получил вследствие косности царского правительства. За границей первые оптические прицелы появились значительно позже.

В 1879 г. Петрушевским был изготовлен оптический прицел с уровнем для 11-дюймовой береговой пушки. Этот прицел был приспособлен для стрельбы по невидимым целям. Стрельба показала прекрасные качества прицела Петрушевского.

В 1876 г. Булыгин приспособил морские прицелы для стрельбы ночью. Он предложил покрывать целики и мушки фосфористым светящимся составом.

В 1878 г. А. П. Давыдов предложил применить электричество для освещения целика и мушки. Опыты прошли удачно.

В 1877 г. Проценко предложил свою конструкцию механического прицела реечного типа с несколькими дистанционными шкалами для различных снарядов. Шкалы (кольцевые) размещались на диске, который находился на зубчатом колесе, связанном с зубцами рейки. Этот прицел назывался кремальерным прицелом Проценко. На вооружение он был принят в 90-х годах XIX в.

В 1870 г. С. К. Каминский предложил модель первого в мире автоматического прицела для стрельбы из береговых орудий по морским судам прямой наводкой. Для изменения угла прицеливания служили специальные фигурные копиры (для каждого заряда имелся свой копир). Несколько позже С. К. Каминский усовершенствовал свой прицел, добавив к нему оптический визир.

В 1882 г. преподаватель Артиллерийской академии К. Г. Гук разработал теорию стрельбы с закрытых огневых позиций по невидимым целям (его труд носил название: «Закрытая стрельба полевой артиллерии») и предложил конструкцию первого в мире дугового прицела с угломерным устройством, с оптическим (телескопическим) визиром и с боковым уровнем. Прицел Гука позволял производить горизонтальную наводку при помощи вспомогательной точки наводки с использованием для этой цели горизонтального угломера прицела. Прицел Гука, шарнирно связанный с цапфой ствола, был прообразом дугового прицела XX в.

В развитие теории стрельбы с закрытых огневых позиций капитан Грум-Гржимайло предложил свой прицел с угломером и с оптическим визиром. В этом прицеле был усовершенствован механизм углов возвышения.

В 1896 г. Грум-Гржимайло предложил использовать угломер в качестве командирского прибора для определения углов горизонтальной наводки орудий при стрельбе по цели, невидимой с огневой позиции.

Все последующее развитие прицелов и приборов управления артиллерийским огнем во всех армиях мира было основано на использовании угломеров, при этом за основу были взяты идеи русских артиллеристов — Гука и Грум-Гржимайло.

Впервые прицельный угломер был применен для горизонтальной наводки в 80-х годах XIX в. в русской осадной и крепостной артиллерии при стрельбе по невидимой цели. Крепостной угломер был выполнен в виде большого транспортира с линейкой, шарнирно закрепленной в центре дуги. Сначала

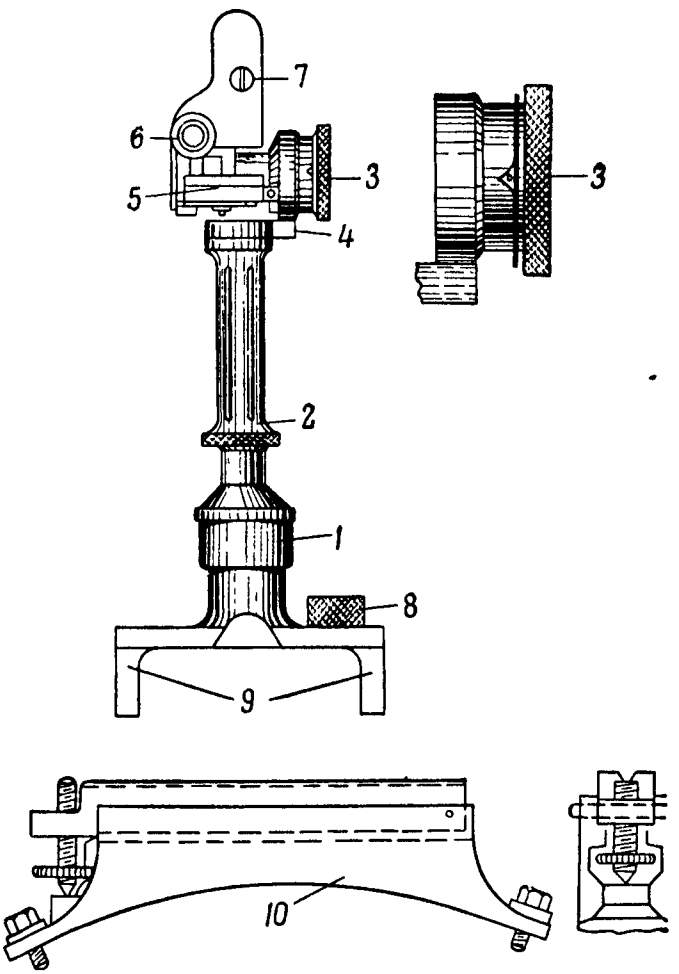


Рис. 17 1. Оптический угломер (гониометр) Лауница:

1 — основание; *2* — колонка; *3* — барабан угломера; *4* — кронштейн (полка); *5* — планка; *6* — оптический визир; *7* — коллиматор; *8* — уровень; *9* — пятки для установки на рельс; *10* — рельс установочный (устанавливался на орудии как подставка для всего угломера)

на местности устанавливали строго горизонтально на специальном основании угломер-транспортир так, чтобы его прямолинейная сторона была перпендикулярна к плоскости стрельбы. Затем к нему подкатывали орудие, которое ставили так, чтобы ось хода орудия была параллельна основанию угломера-транспортира. С основанием угломера-транспортира соприкасались две прицельные планки, прикрепляемые к станку спереди.

Значительным шагом вперед было появление в осадной и крепостной артиллерии в середине 90-х годов XIX в. о п т и-

ческого угломера (гониометра) системы русского приборостроителя И. А. Лауница. Угломер Лауница устанавливался на орудии и позволял производить горизонтальную наводку по видимым и невидимым целям (рис. 171). Изменение установки угломера на большую величину осуществлялось поворотом вручную колонки *2* в основании *1*. Угломер имел механизм поперечного качания и уровень, то есть обеспечивал точную наводку орудия без горизонтирования оси цапф.

§ 3. АРТИЛЛЕРИЙСКИЕ ПРИЦЕЛЫ РУССКОЙ АРТИЛЛЕРИИ В XX в. (досоветский период)

В XX в. угломер был введен во все орудийные прицелы. Благодаря этому вся русская артиллерия с начала XX в. уже была приспособлена для стрельбы с закрытых позиций (рис. 172). Кроме того, был введен боковой уровень для вертикальной непрямой наводки без квадранта.

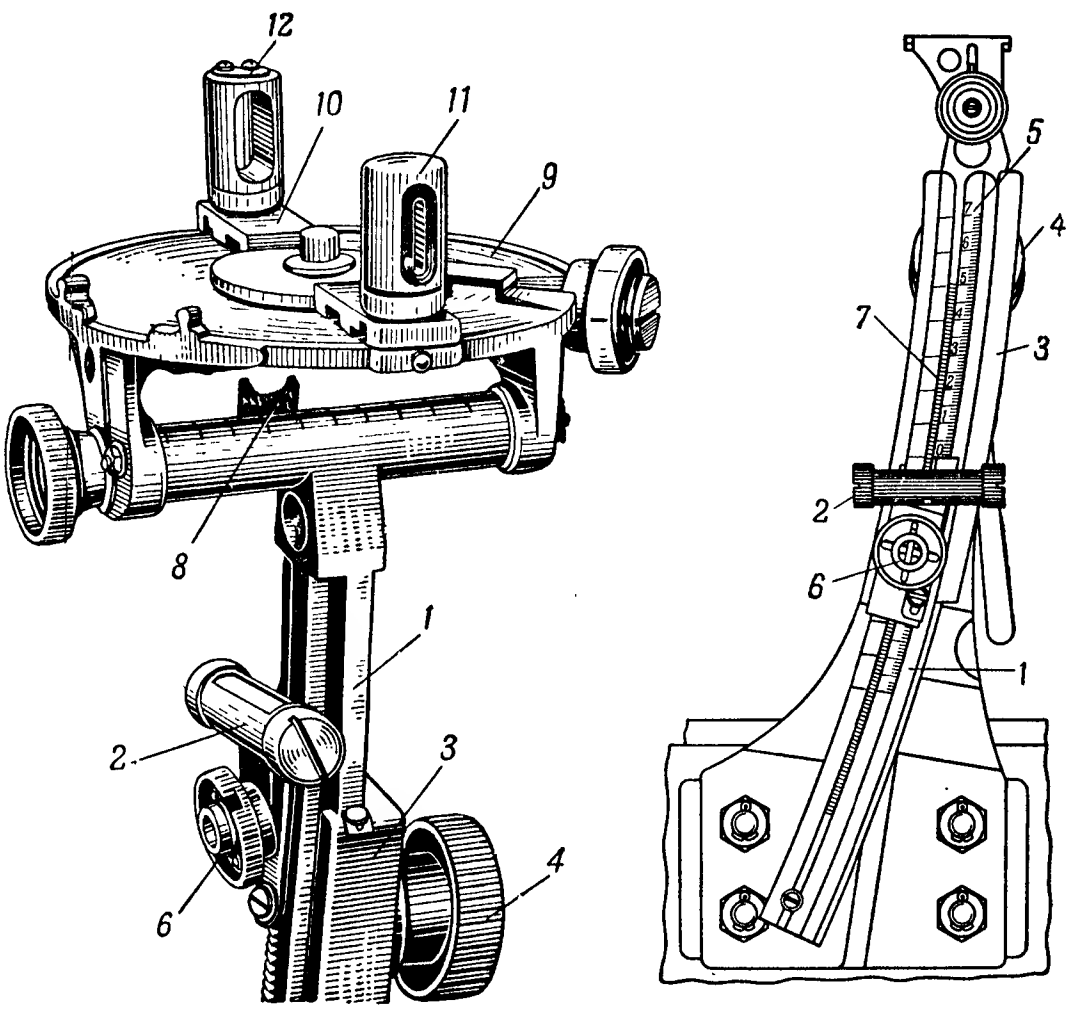
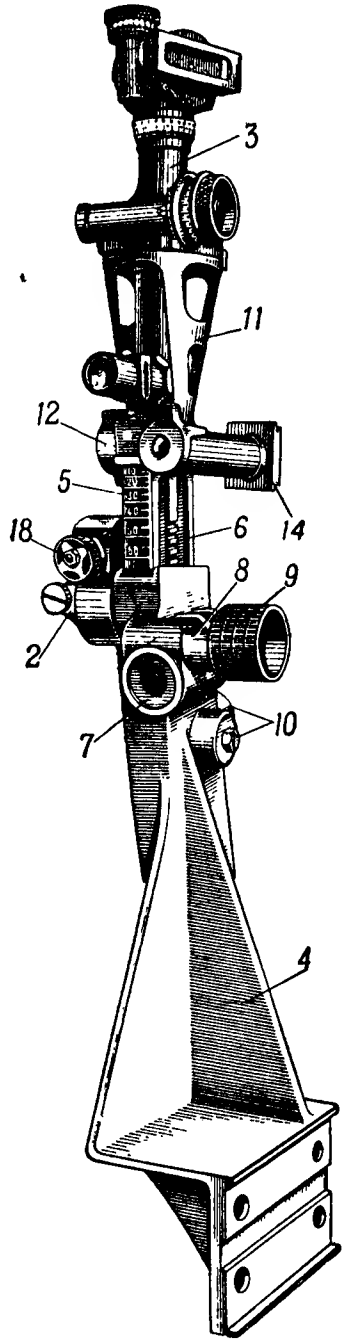
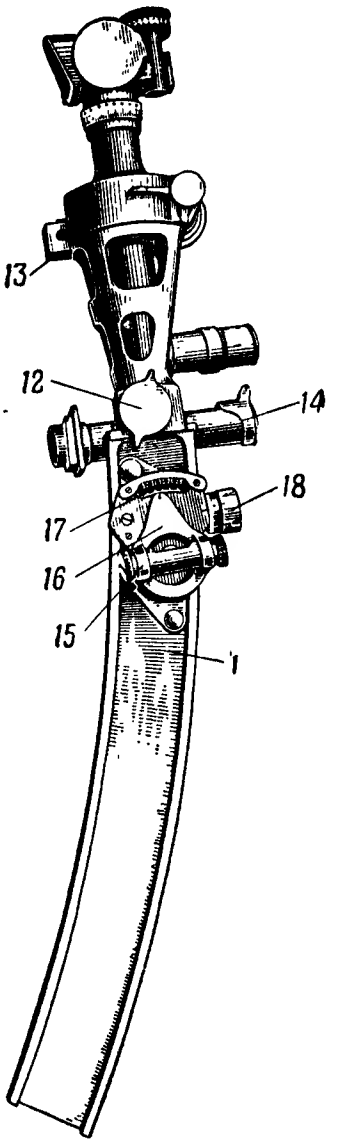


Рис. 172. Дуговой прицел с механическим визиром и угломером и с боковым уровнем (76-*мм* пушка обр. 1900 г.):

1 — дуговой стебель прицела; *2* — уровень; *3* — кронштейн прицела; *4* — маховик подъемного механизма прицела; *5* — шкала уровня; *6* — маховичок уровня; *7* — кремальеры для уровня; *8* — целик; *9* — угломер; *10* — алидада; *11* — глазной диоптр; *12* — предметный диоптр



Фиг. 1



Фиг. 2

Рис. 173. Дуговой прицел с панорамой (прицел обр. 1906 г.). *Фиг. 1* — вид со стороны казенной части, *фиг. 2* — вид слева (без кронштейна):

1 — дуговой стебель прицела; *2* — боковой уровень; *3* — панорама; *4* — кронштейн прицела; *5* — шкала прицела; *6* — зубчатая рейка; *7* — подъемный механизм прицела; *8* — эксцентрическая втулка; *9* — маховичок механизма *7*; *10* — пружинные поджимы; *11* — корзинка панорамы; *12* — пружинная защелка; *13* — прилив с зажимом; *14* — визирная трубка; *15* — оправа уровня; *16* — указатель уровня; *17* — шкала уровня; *18* — червячный механизм вращения уровня

Первым русским орудием XX в. была 76-*мм* полевая скорострельная пушка обр. 1902 г. Прицел этой пушки был такой же, как у 76-*мм* пушки обр. 1900 г., т. е. механический дуговой некачающийся с боковым уровнем для вертикальной наводки и с угломером, расположенным на стебле прицела. Кроме того, на прицеле имелась отдельная шкала углов места цели для ускорения непрямой наводки.

Для увеличения точности наводки были введены качающиеся и панорамные прицелы.

Качающиеся прицелы нашли широкое применение в горной артиллерии, так как в условиях стрельбы в горах (при больших углах возвышения) наклон оси цапф особенно влияет на точность наводки.

В 1904 г. в горной артиллерии были введены дуговые качающиеся прицелы. Позже качающиеся прицелы были введены и в полевой артиллерии.

Панорамные прицелы в России были приняты на вооружение с 1906 г., т. е. после русско-японской войны, во время которой русская артиллерия впервые в мире успешно применила стрельбу непрямой наводкой (с закрытых огневых позиций).

Первая панорама, представлявшая собой перископический оптический прибор для кругового наблюдения без перемещения окуляра, была изобретена еще в середине XVIII в. М. В. Ломоносовым.

Артиллерийская панорама XX в. отличается от панорамы Ломоносова лишь угломерным устройством.

Первый русский панорамный прицел полевой артиллерии некачающийся, принятый на вооружение в 1906 г. (рис. 173), состоял из трех основных частей — дугового стебля со шкалами углов прицеливания, панорамы и механизма углов места цели с боковым уровнем.

Наши отечественные панорамы по своим качествам превосходили панорамы иностранных армий.

Дальнейшим усовершенствованием прицелов явилось введение в их конструкцию барабанов с несколькими дистанционными шкалами, что способствовало значительному упрощению и ускорению наводки. Барабан при помощи зубчатого зацепления соединялся со стеблем прицела. Прицелы с барабанами были введены в России в 1909 г.

§ 4. ПРИЦЕЛЫ ЗЕНИТНОЙ АРТИЛЛЕРИИ

(досоветский период)

Вопросами стрельбы по самолетам в России начали заниматься с момента появления первых военных самолетов. В первую очередь был разработан вопрос о приспособлении полевых скорострельных пушек с их прицелами для зенитной стрельбы.

Центром научной артиллерийской мысли по вопросам зенитной стрельбы была Офицерская артиллерийская школа. Здесь в 1909—1910 гг. была доказана необходимость создания специальных зенитных пушек и были разработаны тактико-технические требования к ним.

Была доказана также необходимость создания специального зенитного прицела. Теорию и проект первого зенитного артиллерийского прицела разработал русский ученый артиллерист Ф. Ф. Лендер (1913—1914 гг.).

Прицел Лендера для зенитных пушек имел независимую линию прицеливания. Прицел был панорамный с дистанционным барабаном, на котором были нанесены восемь дистанционных шкал для различных углов места цели.

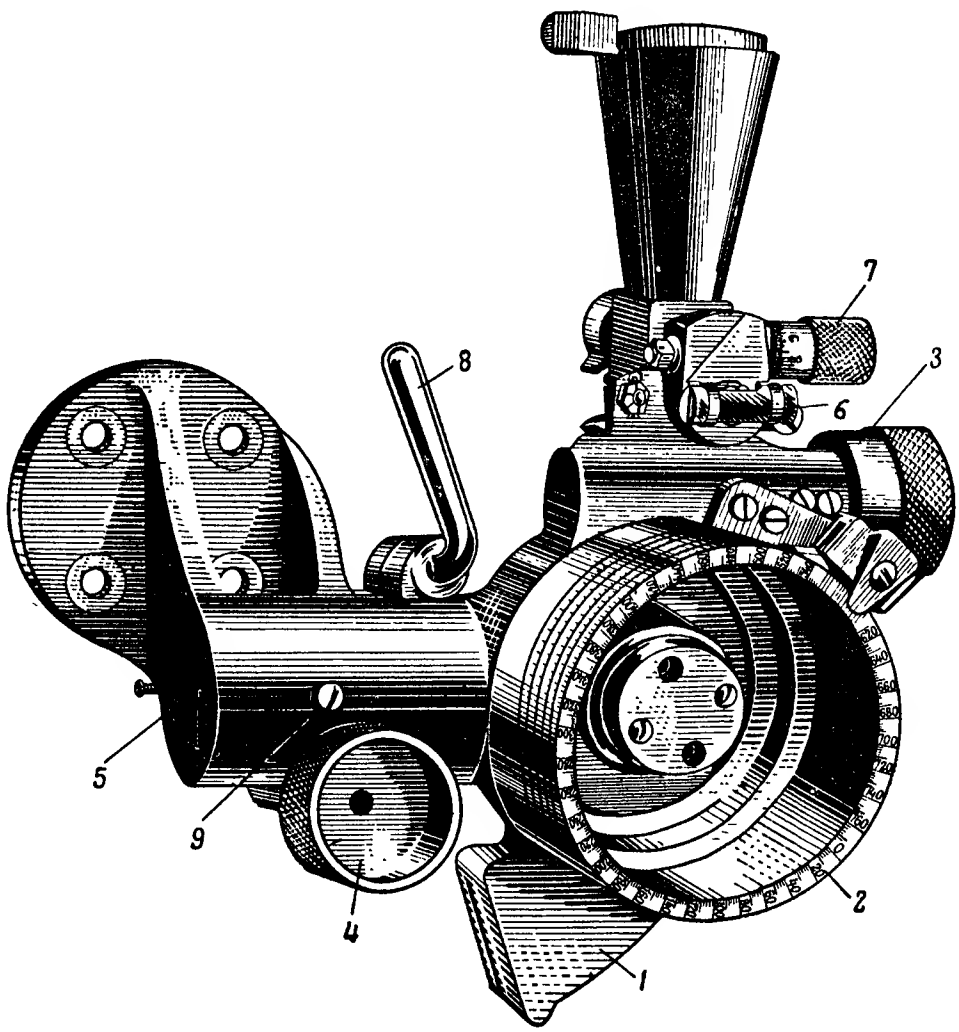


Рис. 174. Прицел обр. 1930 г. с кронштейном, в собранном виде. Вид слева:

1 — коробка прицела; *2* — дистанционный барабан; *3* — маховичок червяка механизма углов прицеливания; *4* — червяк механизма поперечного качания прицела; *5* — кронштейн прицела; *6* — боковой уровень; *7* — червяк бокового уровня; *8* — зажимной винт кронштейна; *9* — ограничительный винт (ограничивает поворот коробки прицела в кронштейне прицела)

§ 5. АРТИЛЛЕРИЙСКИЕ ПРИЦЕЛЫ СОВЕТСКОЙ АРТИЛЛЕРИИ

С самого начала усовершенствования (модернизации) артиллерии, доставшейся в наследство Советской Армии от старой русской армии, огромное внимание уделялось прицелам. Были созданы так называемые нормализованные прицелы, годные для различных образцов орудий (рис. 174), а также оригинальные прицелы с независимой линией прицеливания и с полузависимой линией прицеливания для наземной и зенитной артиллерии.

Появились оригинальные противотанковые прицелы. Были созданы прицелы и для минометов.

Исключительно широко развернулось конструирование зенитных прицелов для автоматических и полуавтоматических пушек, а также приборов управления артиллерийским зенитным огнем, при этом использовались последние достижения в области радиолокации и автоматизации вычислений и управления на расстоянии.

В результате большой работы, проделанной советскими учеными и конструкторами, советская артиллерия имеет на вооружении прицелы, которые по своим качествам превосходят прицелы артиллерии иностранных армий.

ГЛАВА II

ОБЩИЕ ОСНОВЫ УСТРОЙСТВА ПРИЦЕЛОВ НАЗЕМНОЙ АРТИЛЛЕРИИ

§ 1. СУЩНОСТЬ НАВОДКИ И ЕЕ ВИДЫ

Для попадания снаряда в цель необходимо до выстрела придать стволу орудия определенное направление в пространстве. Это направление определяется двумя углами: одним — в вертикальной плоскости (угол возвышения φ) и другим — в горизонтальной плоскости (угол наводки ψ).

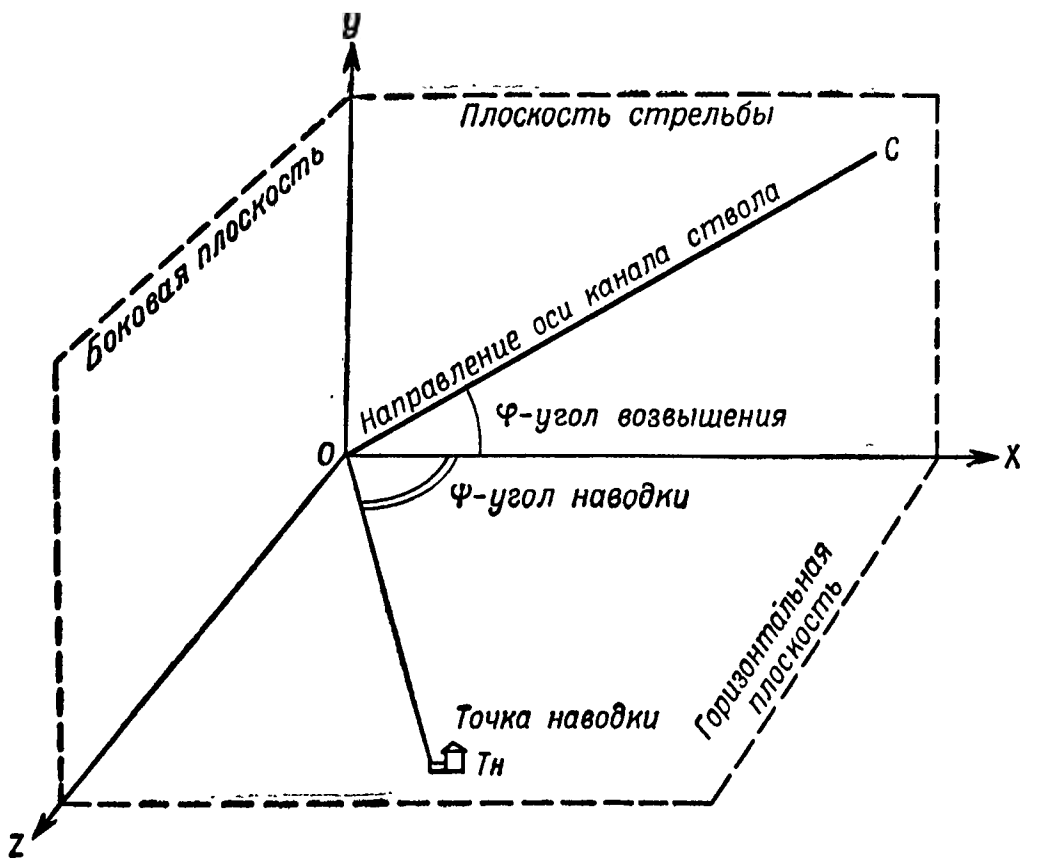


Рис. 175. Основные (координатные) плоскости (*XOY*, *XOZ* и *YOZ*) и основные углы наводки орудия (φ и ψ)

Совокупность операций по приданию стволу определенного направления в пространстве называется наводкой (рис. 175).

Наводка орудия подразделяется на горизонтальную и вертикальную. Горизонтальной наводкой называется придание проекции оси канала ствола на горизонтальную плоскость определенного направления (в этой горизонтальной плоскости).

Вертикальной наводкой называется придание оси канала ствола определенного направления в вертикальной плоскости (в плоскости стрельбы).

Наводку выполняют путем визирования по вспомогательной линии, которой придают определенное направление относительно оси канала ствола. Эта вспомогательная линия называется линией визирования (см. определение в § 2).

В процессе наводки сначала придают линии визирования определенное направление относительно оси канала ствола, а затем вращают ствол так, чтобы линия визирования проходила через указанную точку на местности.

В зависимости от метода выполнения наводка подразделяется на следующие виды.

Прямая наводка (горизонтальная и вертикальная) — выполняется при непосредственном визировании по цели. Применяется при стрельбе по цели, видимой с огневой позиции.

Непрямая наводка (горизонтальная и вертикальная) — выполняется без визирования по цели. В этом случае вертикальная наводка осуществляется при помощи уровня, а горизонтальная — при помощи визирования по вспомогательной точке — точке наводки — или при помощи зафиксированной прямой линии на лафете. Непрямая наводка применяется при стрельбе по невидимой цели.

Полупрямая наводка. В этом случае горизонтальная наводка выполняется визированием по цели, а вертикальная — при помощи уровня. Полупрямая наводка применяется при стрельбе по видимой цели.

Углы наводки, определяющие необходимое направление ствола в пространстве, предварительно должны быть вычислены с учетом следующих данных:

1) дальности до цели;

2) превышения цели относительно орудия;

3) типа снаряда и взрывателя, веса снаряда в окончательно снаряженном виде;

4) номера заряда;

5) состояния орудия (учет износа канала ствола);

6) размеров цели и степени ее закрытия (учет рельефа местности) для подбора необходимой крутизны траектории снаряда;

7) направления и скорости движения цели;

8) атмосферных условий (ветер, температура, влажность, давление);

9) температуры заряда;

10) деривации снаряда;

11) положения точки наводки относительно орудия и цели;

12) угла вылета (дается в таблицах стрельбы для каждого снаряда и заряда).

Скомандованные углы наводки орудия устанавливаются (строятся) на специальных (прицельных) устройствах, являющихся частью орудия. При дистанционной стрельбе одновременно вычисляется и командуется установка взрывателя.

В зенитной артиллерии углы наводки и установки взрывателя вычисляются и передаются на орудия автоматически при помощи специальных приборов управления артиллерийским зенитным огнем (ПУАЗО) и приборов синхронной передачи.

Механизмы, установленные на орудии, на которых производится построение углов вертикальной и горизонтальной наводки и при помощи которых обеспечивается придание стволу требуемого направления в пространстве, называются прицельными устройствами. Прицельные устройства используются также для отмечания положения орудия, наведенного на цель, для измерения углов на местности и для определения наименьшего прицела. Часто прицельные устройства называют сокращенно одним словом «прицел».

Углы наводки, построенные в прицельных устройствах, называются прицельными углами. Деления на шкалах прицела, соответствующие прицельным углам, называются установками. Установки называются нулевыми, если линия визирования и ось канала ствола параллельны между собой.

§ 2. ТЕРМИНОЛОГИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Точка стояния орудия (O) — начало отсчета траектории — точка вылета снаряда (рис. 176).

Плоскость стрельбы или плоскость выстрела (XOY) — вертикальная плоскость, проходящая через ось канала наведенного ствола.

Линия выстрела (OC) — прямая в плоскости стрельбы, являющаяся продолжением оси канала ствола наведенного орудия.

Угол возвышения (φ) — угол в плоскости стрельбы между линией выстрела (осью ствола) и горизонтом.

Линия цели ($OЦ$) — прямая, соединяющая орудие с целью.

Плоскость цели ($YOЦ$) — вертикальная плоскость, проходящая через линию цели.

Угол места цели (ε) — угол в плоскости цели между линией цели $OЦ$ и горизонтом.

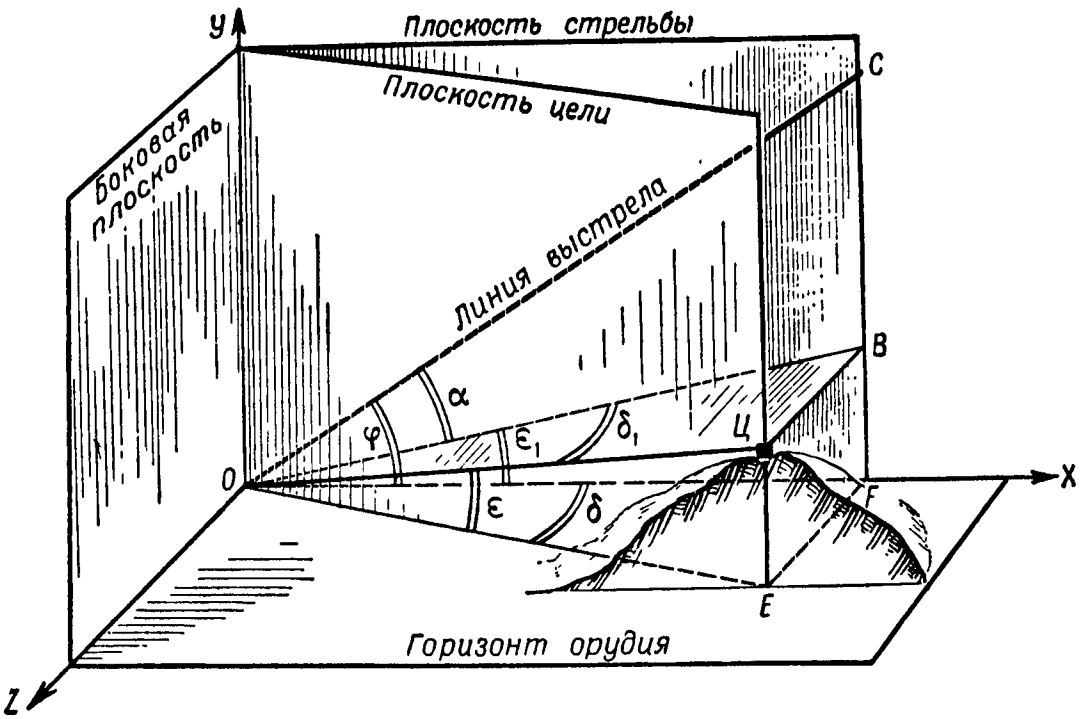


Рис. 176. Положение цели относительно основных (координатных) плоскостей и относительно линии выстрела:

ОЦ — линия цели; *ОВ* — проекция линии цели на плоскость стрельбы; *YOE* — плоскость цели; δ_1 — боковой угол прицеливания; δ — горизонтальный угол прицеливания; ε — угол места цели; ε_1 — проекция угла места цели на плоскость стрельбы

Горизонт орудия (*XOZ*) — горизонтальная плоскость, проходящая через точку вылета. При стрельбе на большие дальности размерами орудия пренебрегают, принимая орудие за точку.

Горизонтальный угол прицеливания (δ) — угол в горизонтальной плоскости между плоскостями стрельбы и цели.

Проекция цели на плоскость стрельбы (точка *В*) — основание перпендикуляра, опущенного из точки цели *Ц* на плоскость стрельбы *XOY*.

Проекция линии цели на плоскость стрельбы (*ОВ*) — прямая, соединяющая орудие с проекцией цели на плоскости стрельбы.

Проекция угла места цели на плоскость стрельбы (ε_1) — угол между проекцией линии цели на плоскость стрельбы и горизонтом. Для наземной стрельбы можно принимать $\varepsilon_1 = \varepsilon$ ввиду малой величины угла между плоскостями цели и стрельбы.

Угол прицеливания (α) — угол в плоскости стрельбы между проекцией линии цели (прямой *ОВ*) и линией выстрела (прямой *ОС*).

Боковой угол прицеливания (δ_1) — угол в наклонной плоскости между линией цели (*ОЦ*) и ее проекцией на плоскость стрельбы (*ОВ*).

Деривация — боковое отклонение вращающегося снаряда от плоскости стрельбы при отсутствии ветра (для всех наших нарезных орудий деривация — отклонение снаряда вправо от плоскости стрельбы).

Деривация в точке падения (Z) — отклонение точки падения M вращающегося снаряда от плоскости стрельбы при отсутствии ветра (рис. 177).

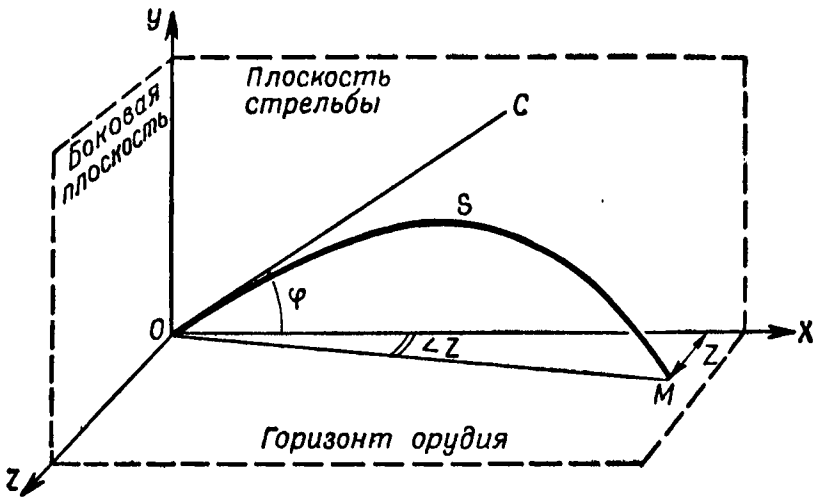


Рис. 177. Схема, поясняющая явление деривации

Угол деривации ($\angle Z$) — угол между прямой OM, соединяющей орудие с точкой падения снаряда, и плоскостью стрельбы XOY (при отсутствии ветра).

Точка наводки ($Тн$) — вспомогательная точка на местности для визирования по ней при непрямой наводке (рис. 175).

Точка прицеливания — точка на цели для визирования по ней при прямой и полупрямой наводке.

Линия наводки ($ОТн$) — прямая, соединяющая орудие с точкой наводки. После выполнения наводки орудия линия наводки совпадает с линией визирования.

Плоскость наводки — вертикальная плоскость, проходящая через линию наводки (рис. 180).

Угол горизонтальной наводки (ψ_0) — угол в горизонтальной плоскости между плоскостями цели и наводки (рис. 180).

Угол наводки (ψ) — угол в горизонтальной плоскости между плоскостью стрельбы и плоскостью наводки. Угол наводки является основным для горизонтальной наводки.

Линия визирования — прямая линия, проходящая через середину диоптра (или прорезь целика) и вершину мушки (для механического визира).

Для оптических визиров линия визирования — прямая, проходящая от центра выходного зрачка визира через указанную

в команде точку прицельной сетки (перекрестие нитей или вершина прицельной марки и т. п.), видимой в поле зрения визира.

Во время наблюдения через оптический визир центр выходного зрачка визира совмещается с центром зрачка глаза наводчика (рис. 196).

Нулевая линия визирования — направление линии визирования при нулевых установках на шкалах прицела (параллельна оси канала ствола).

Линия прицеливания — линия визирования при построенных в прицеле прицельных углах. Линия прицеливания занимает определенное положение относительно оси канала ствола.

Зависимость между основными углами

Для наземной стрельбы принимают (рис. 176):

$$\varepsilon_1 = \varepsilon \text{ и } \delta_1 = \delta.$$

Примечание. Угол между плоскостями стрельбы и цели учитывает влияние деривации, ветра и движения цели. Этот угол для наземной стрельбы мал — обычно менее 1° (для полевой артиллерии).

Связь между углами ε и ε_1 следующая:

$$\varepsilon = \varepsilon_1 \cos \delta.$$

Так как $\cos \delta \approx 1$, то

$$\varepsilon_1 \approx \varepsilon.$$

Связь между углами δ и δ_1 следующая:

$$\delta_1 = \delta \cos \varepsilon.$$

Имея в виду сравнительно малые значения угла ε (кроме случаев стрельбы в горах), можно допустить, что $\cos \varepsilon \approx 1$. Очевидно, что для горных условий последнее допущение неприменимо.

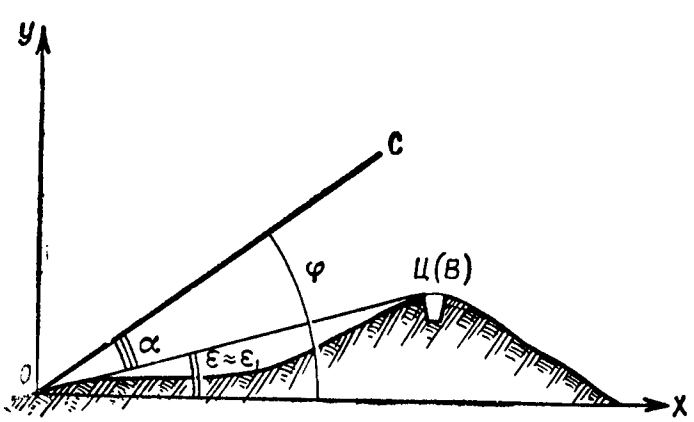


Рис. 178. Основные углы в плоскости стрельбы (цель выше горизонта орудия):
ε — угол места цели; α — угол прицеливания;
φ — угол возвышения; OC — линия выстрела

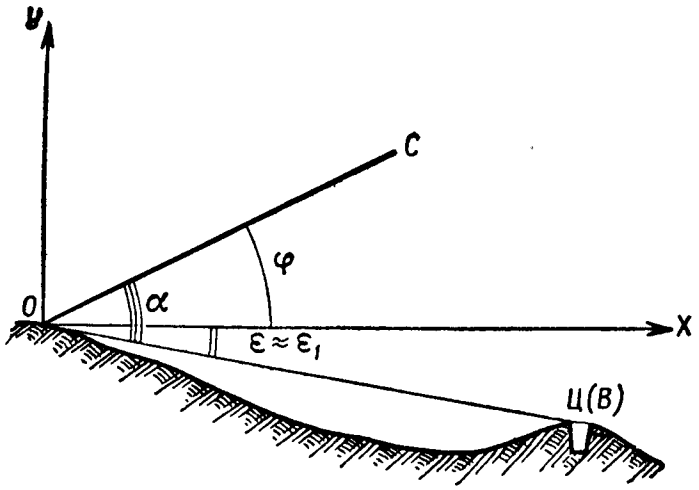


Рис. 179. Основные углы в плоскости стрельбы (цель ниже горизонта орудия):

ε — угол места цели; α — угол прицеливания; φ — угол возвышения; *ОС* — линия выстрела

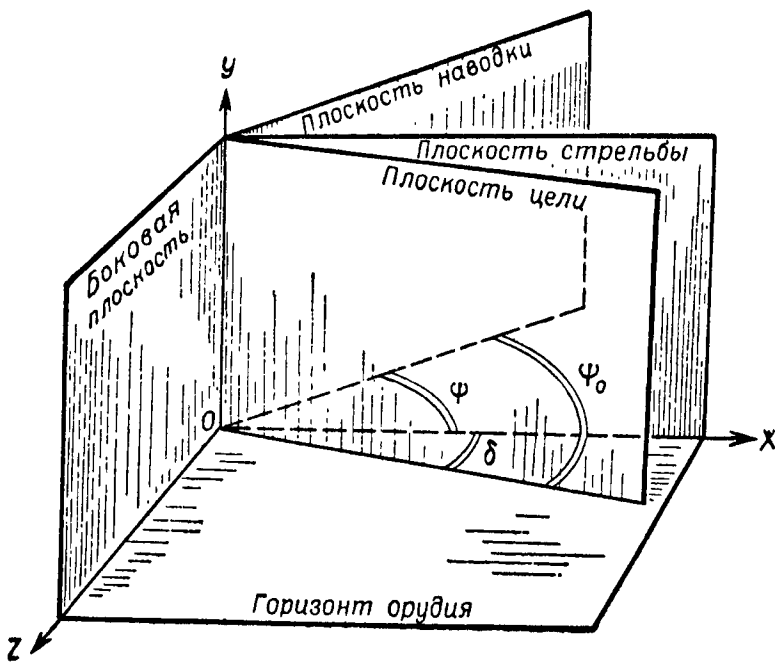


Рис. 180. Основные вертикальные плоскости и основные углы в горизонтальной плоскости:

ψ_0 — угол горизонтальной наводки; δ — горизонтальный угол прицеливания; ψ — угол наводки ($\psi_0 > 0$; $\psi > 0$; $\delta < 0$)

Угол возвышения φ равен алгебраической сумме двух углов — угла места цели и угла прицеливания:

$$\varphi = \varepsilon + \alpha.$$

Положительным направлением отсчета для углов ψ и ψ_0 является направление от плоскости наводки по часовой стрелке, а для угла δ — от плоскости цели также по часовой стрелке.

Угол наводки ψ равен алгебраической сумме углов горизонтальной наводки и горизонтального угла прицеливания

$$\psi = \psi_0 + \delta.$$

Углами, вполне определяющими положение ствола в пространстве, являются:

φ — угол возвышения — в вертикальной плоскости и

ψ — угол наводки — в горизонтальной плоскости.

О знаках углов. Во всех случаях стрельбы и при любом расположении цели относительно орудия угол прицеливания сохраняет свой знак (+).

Все остальные углы могут иметь два знака (+ или —). Угол места цели считается положительным, если цель расположена выше орудия.

§ 3. ОСНОВНЫЕ ТАКТИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ПРИЦЕЛЬНЫМ УСТРОЙСТВАМ

Многообразие видов артиллерии и образцов орудий, обладающих различными баллистическими свойствами, привело к созданию многих типов прицелов. Для каждого образца орудия имеется свой тип прицела, обеспечивающий наилучшие условия для решения огневых задач.

Ниже приводятся общие требования, предъявляемые к прицелам различных типов.

1. Высокая точность построения прицельных углов. Итоговые ошибки вследствие производственных допусков и износа деталей в угловых величинах не должны превосходить одно малое деление артиллерийского угломера при оптическом визире и два деления при механическом визире. Мертвые хода должны быть минимальными; они должны выбираться за счет действия пружин. Наибольшая точность построения прицельных углов требуется для орудий, стреляющих по подвижным целям (противотанковая, зенитная, корабельная, береговая, авиационная артиллерия).

2. Большая живучесть прицелов. Прицел должен выдерживать динамические нагрузки на походе и во время стрельбы при самых разнообразных боевых условиях, при этом не должно быть разрушения деталей, нарушения кинематической связи механизмов и потери точности.

Прицел не должен быть чувствительным к действию атмосферных осадков и к резкому изменению температуры.

3. Быстрота перевода в боевое положение. Перевод прицела в боевое положение не должен мешать выполнению других операций при переходе орудия в боевое положение и должен совершаться быстро.

4. Простота конструкции прицела и обращения с ним. Устройство прицела должно быть возможно более простым для того, чтобы орудийный расчет мог быстро освоиться

с прицелом и правильно им пользоваться. Простота конструкции обеспечивает быстроту изготовления прицела и его ремонта в войсковых мастерских.

5. Несбиваемость прицельных установок во время стрельбы. Это требование является основным, обеспечивающим получение большой скорострельности и меткости стрельбы. Для достижения этого все механизмы построения прицельных углов должны быть самотормозящимися.

6. Приспособленность к орудию. Конструкция и расположение прицельных устройств на орудии должны обеспечивать удобство их обслуживания и неутомляемость наводчиков.

Прицельные устройства должны обеспечивать возможность выполнения всех операций по наведению орудия в цель, по построению батарейных вееров, по отмечанию орудия по точке наводки в любом направлении. Допустимо применение удлинителей корзинки панорамы для обеспечения кругового наблюдения. Почти все прицелы с оптическими визирами являются одновременно приборами наблюдения, поэтому при подборе соответствующей оптики особое внимание уделяется полю зрения, увеличению, светосиле и удалению выходного зрачка от окуляра. Все эти характеристики для каждого типа орудия имеют свои оптимальные значения.

7. Универсальность прицелов, т. е. пригодность одного и того же прицела для многих образцов орудий при замене только прицельных шкал и некоторых второстепенных деталей.

8. Простота проверки прицелов в войсках и наличие в прицелах регулировочных механизмов.

9. Наличие освещения всех шкал прицела и сетки в поле зрения визира. Шкалы покрываются самосветящейся краской.

§ 4. ОСНОВНЫЕ ЧАСТИ ПРИЦЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

Современные артиллерийские прицельные устройства состоят из следующих основных частей:

1) механизмов построения прицельных углов (механизмы углов места цели ε, прицеливания α и наводки ψ; механизм поперечного качания прицела; подъемный механизм прицела, качающий весь прицел вокруг оси, перпендикулярной оси ствола; уровни);

2) визирного устройства (у одного орудия может быть несколько визиров);

3) соединительных деталей, соединяющих прицел с орудием;

4) указателей, определяющих положение орудия соответственно установкам, принятым на прицеле;

5) осветительного устройства (для освещения шкал и перекрестий при работе ночью и в условиях плохой видимости).

У некоторых прицельных устройств может не быть тех или иных перечисленных частей или механизмов.

§ 5. КЛАССИФИКАЦИЯ ПРИЦЕЛОВ (ПРИЦЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ)

Все типы прицелов современной артиллерии можно классифицировать по следующим признакам:

а) по видам артиллерии, для которых прицелы предназначены;

б) по типам основных визирных устройств;

в) по конструктивным особенностям связи прицела с орудием;

г) по степени зависимости линии прицеливания от работы механизмов прицела и механизмов наведения орудия;

д) по степени автоматизации построения прицельных углов;

е) по виду наводки, для которой предназначен прицел;

ж) по принципу построения углов прицеливания.

Классификация прицелов:

А. **По видам артиллерии:**

а) прицелы наземной артиллерии;

б) противотанковые;

в) минометные;

г) зенитные;

д) авиационные;

е) корабельные;

ж) береговые;

з) танковые;

и) прицелы самоходно-артиллерийских установок.

Б. **По типам основных визирных устройств** (главный признак для характеристики прицела):

а) оптические прицелы (телескопические, панорамные, коллиматорные);

б) оптические с электронно-оптическим преобразователем — для ночного видения [1];

в) механические;

г) радиотехнические

В. **По конструктивным особенностям связи прицела с орудием:**

I. В зависимости от схемы связи с качающейся частью орудия:

а) прицелы, зависимые от орудия, перемещающиеся вместе с качающейся частью орудия как одно целое во время работы подъемным механизмом орудия;

б) не зависимые от орудия, остающиеся неподвижными при работе подъемного механизма орудия.

---

[1] В оптическом прицеле для ночного видения между объективом и окуляром помещен электронно-оптический преобразователь, преобразующий изображение невидимое (из инфракрасных лучей) в видимое при помощи электронов и экрана, светящегося при ударе электронами (см. § 20 данной главы).

И. В зависимости от возможности горизонтировать прицел без изменения положения орудия (при наклоне оси цапф люльки):

а) качающиеся прицелы (которые можно вращать вокруг оси, параллельной оси канала ствола, при помощи специального механизма поперечного качания прицела);

б) некачающиеся — не вращающиеся относительно оси, параллельной оси канала ствола.

Г. **По степени зависимости линии прицеливания от работы механизмов прицела и механизмов наведения орудия:**

а) прицелы с зависимой линией прицеливания (направление линии прицеливания меняется с изменением угла прицеливания и угла места цели);

б) с независимой линией прицеливания (направление линии прицеливания не меняется с изменением угла прицеливания и угла места цели);

в) с полунезависимой линией прицеливания (направление линии прицеливания не меняется при изменении угла прицеливания и изменяется с изменением угла места цели).

Прицелы с зависимой линией прицеливания не имеют прицельной и орудийной стрелок и являются зависимыми от орудия.

Д. **По степени автоматизации построения прицельных углов:**

а) автоматические прицелы, в которых автоматически вырабатываются прицельные углы в процессе визирования по цели при установлении некоторых характеристик положения и движения цели (дальность, скорость цели и т. п.);

б) неавтоматические, в которых необходимо устанавливать вручную вычисленные значения прицельных углов.

Е. **По виду наводки, для которой предназначен прицел:**

а) прицелы для прямой наводки;

б) для непрямой наводки;

в) для наводки ночью.

Ж. **По принципу построения прицельных углов:**

а) механические прицелы (почти все прицелы XIV—XIX вв.), в которых прицельные углы строятся путем перемещения деталей, не входящих в оптическую систему визира;

б) оптические (почти все современные артиллерийские прицелы), у которых все или некоторые прицельные углы строятся при помощи шкал в поле зрения оптических визиров или путем перемещения деталей оптической системы визира;

в) электрические (некоторые образцы противотанковых, зенитных, морских и авиационных прицелов), у которых прицельные углы вырабатываются в результате действия каких-либо электрических устройств.

§ 6. ТИПЫ ВИЗИРНЫХ УСТРОЙСТВ

Визирные устройства артиллерийских прицелов можно подразделить на три типа:

1. Оптические визиры (для дневного и ночного видения).
2. Механические визиры.
3. Радиотехнические визиры (радиолокационный, телевизионный и другие принципы).

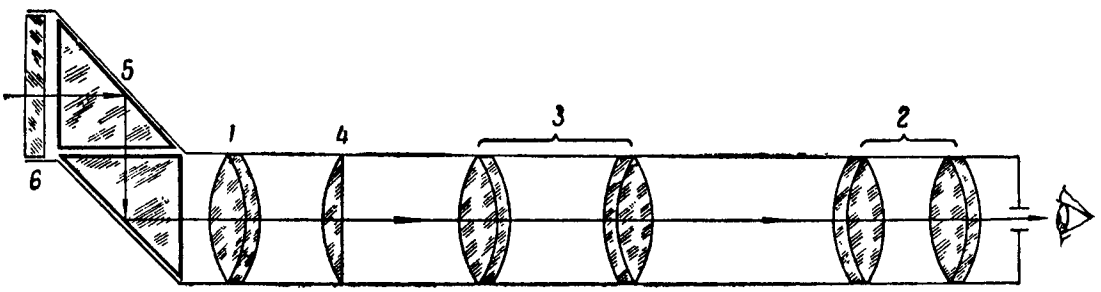


Рис. 181. Схема оптики жесткого телескопического прицела:

1 — линзы объектива; *2* — линзы окуляра; *3* — линзы оборачивающей системы; *4* — конденсор или коллектив — плосковыпуклая линза, на плоской стороне которой (располагаемой в фокальной плоскости объектива) нанесена прицельная сетка; *5* — две отражательные призмы, обеспечивающие небольшую перископичность и возможность построения углов прицеливания путем поворота одной из призм; *6* — предохранительное плоское стекло

Оптическим визиром называется оптическое устройство, дающее изображение местности и сетки (или перекрестия) и состоящее из объектива, окуляра, оборачивающей системы (из линз или из призм) и сетки (перекрестия), помещенной в фокальной плоскости объектива или окуляра.

Оптические визиры делятся на телескопические и панорамные (рис. 181 и 182).

У оптических прицелов визир и прицел составляют одно целое. Почти все орудия наземной артиллерии имеют панорамные визиры для точной наводки и механические для приближенной наводки.

Механические визиры предназначаются:

а) для определения линии визирования (мушка и целик или перекрестия);

б) для определения вертикальной плоскости визирования (прорезь и нить), например, у корзинки панорамы артиллерийских прицелов.

Механические визиры не могут обеспечить высокой точности наводки при больших удалениях цели или точки наводки от орудия, а также при слабом освещении.

Коллиматорные визиры — оптические устройства, дающие изображение прицельной сетки или перекрестия (или только одной линии), проектирующееся на местных предметах, воспринимаемых наводчиком непосредственным наблюдением (рис. 183 и 184).

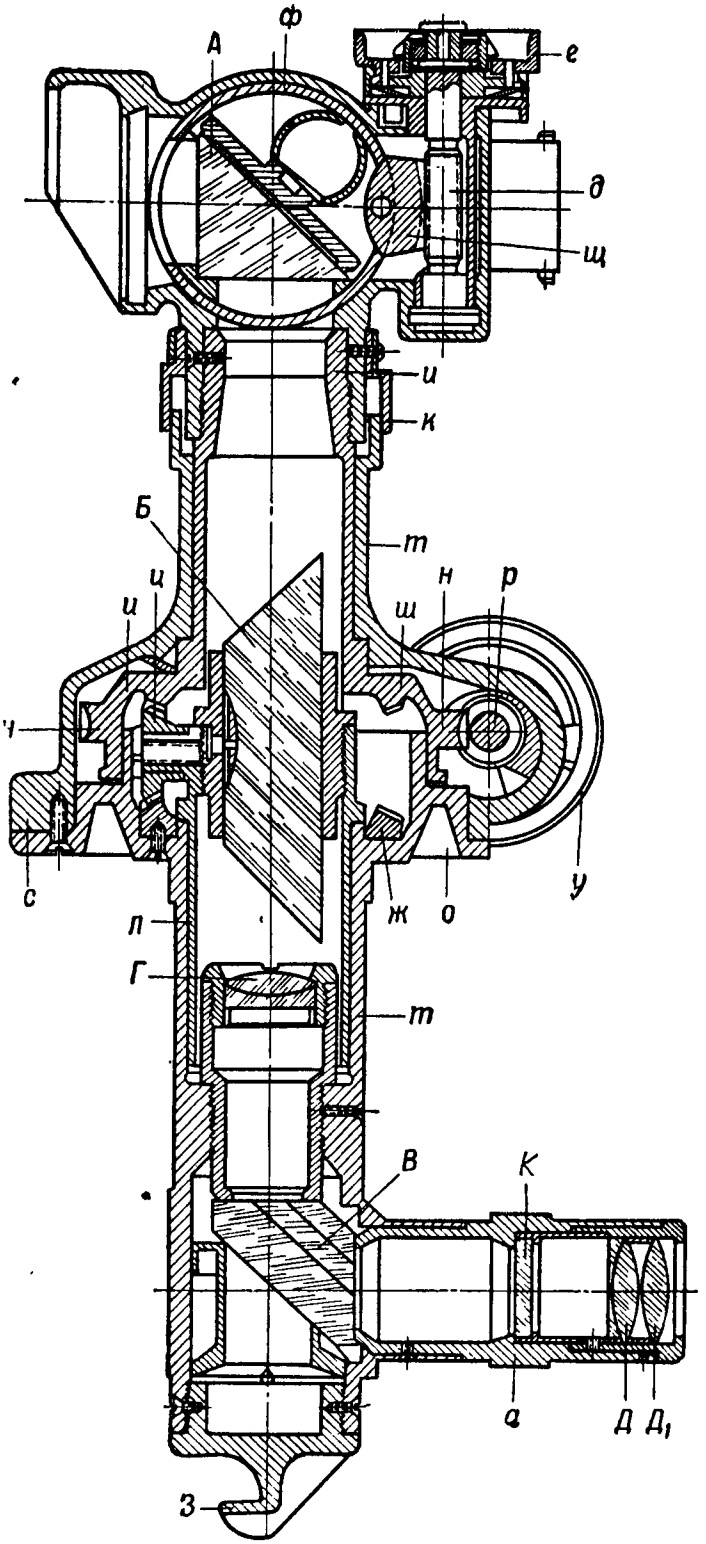


Рис. 182. Разрез панорамы:

А — призма-отражатель; *Б* — поворачивающая призма; *В* — крышеобразная призма; *Г* — линза объектива; *Д* и $Д_1$ — линзы окуляра; *К* — стеклянная пластинка с перекрестием; *а* — окулярная трубка; *д* — червяк; *е* — барабан; *ж* — шестерня; *з* — крючок; *и* — верхняя трубка; *к* — угломерное кольцо; *л* — нижняя трубка; *н* — червячное колесо трубки; *о* — конусный желобок; *р* — червяк; *с* — выступ; *т* — корпус; *у* — кольцо с делениями; *ф* — обойма; *ц* — шестеренка; *ш* — коническая шестерня; *щ* — червячный сектор

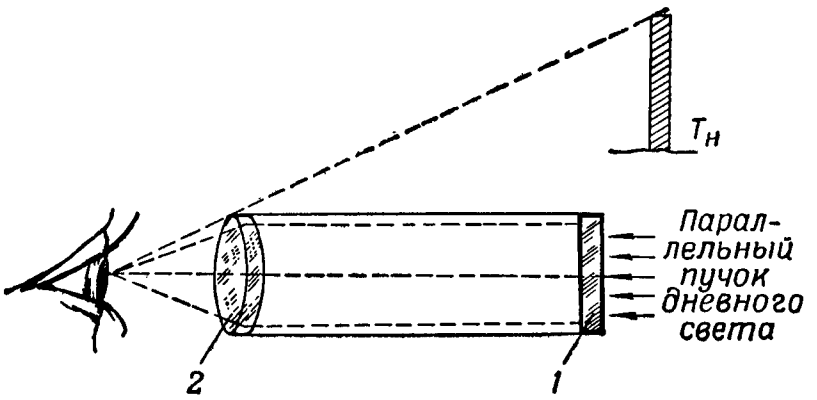


Рис. 183. Схема визирования с коллиматорным визиром минометного типа:
1 — плоская стеклянная пластинка, посеребренная, с узкой световой полосой; *2* — объектив коллиматора

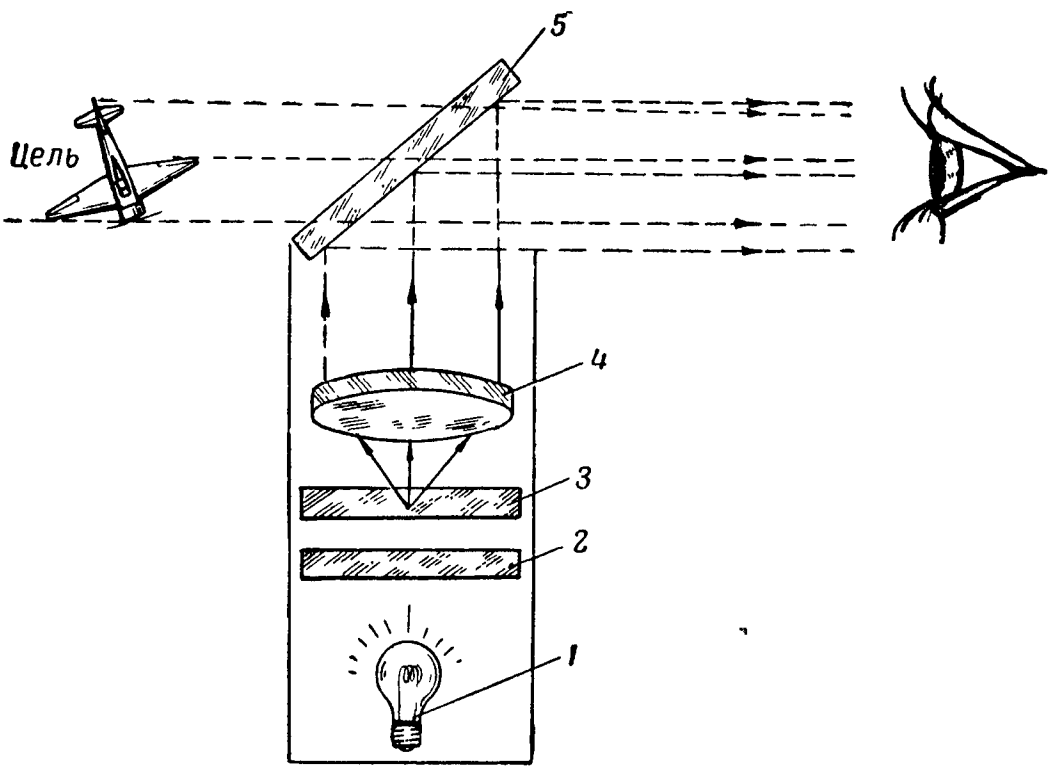


Рис. 184. Коллиматорный визир зенитного типа:
1 — электролампочка; *2* — плоское матовое стекло; *3* — плоское стекло с сеткой; *4* — объектив; *5* — прозрачное плоское стекло, отражающее лучи, идущие от объектива

Коллиматорные визиры используются для минометных и зенитных прицелов (для малокалиберных пушек и крупнокалиберных пулеметов).

Недостатком коллиматора является то, что он не дает изображения местности (не улучшает ее видимости). При работе с коллиматором пределы удаления точки наводки от орудия такие же, как и при работе с механическими визирами.

Преимущества коллиматора: простота устройства, нечувствительность к толчкам при стрельбе, неограниченность поля

зрения; глазу наводчика приходится аккомодировать только на одно расстояние — до точки наводки, а в механических прицелах глаз должен аккомодировать на три расстояния (до целика, мушки и точки наводки).

Имеется два типа коллиматорных визиров:

1. Минометный визир, дающий изображение только световой щели. С этим визиром визирование по цели (точке наводки) необходимо производить поверх прибора. Такой визир менее удобен для наблюдения, для работы с ним наводчик должен быть хорошо натренирован. Он годен только для раздельной наводки (у минометов — только для горизонтальной наводки).

2. Зенитный визир, дающий изображение прицельной сетки и позволяющий вести наблюдение через поле зрения визира. Этот тип визира более удобен для работы наводчика, особенно для стрельбы прямой наводкой по подвижным целям и для автоматических орудий. Интересно отметить, что первый образец оптического артиллерийского угломера системы Лауница (см. рис. 171) имел два визира: оптический (телескопический) и коллиматорный.

§ 7. РАЗЛИЧНЫЕ ВИДЫ МЕХАНИЧЕСКИХ ПРИЦЕЛОВ

В данном параграфе рассматриваются принципиальные схемы построения прицельных углов, для которых оптические визиры не являются обязательными. Если к такой схеме добавить оптический визир, прицел становится оптическим. Почти у всех современных артиллерийских прицелов есть оптические визиры, поэтому они почти все оптические, несмотря на то, что их схемы имеют весьма много общего со схемами механических прицелов. Например, все артиллерийские барабанные прицелы со стрелками относятся к типу оптических, так как у них имеются панорамы.

Механические прицелы в зависимости от основной конструктивной схемы построения прицельных углов делятся на следующие виды.

Жесткий прицел с постоянным углом прицеливания. Такой прицел состоит из целика и мушки, жестко связанных с качающейся частью орудия. Многие орудия на жестком лафете имели жесткий механический прицел. Установка целика и мушки жесткого прицела соответствует углу прицеливания для дальности прямого выстрела, т. е. для такой наибольшей дальности стрельбы, при которой высота траектории снаряда меньше высоты цели.

Жесткий механический прицел является простейшим прицелом. Он может применяться как запасный прицел при выходе из строя основного прицела, а также при стрельбе по танкам и по целям, находящимся в непосредственной близо-

сти от орудия. Кроме простоты конструкции, жесткий прицел имеет еще одно преимущество — постоянную готовность к бою.

Стоечный прицел с подвижным целиком. Основные части стоечного прицела — мушка и стойка, установленные на качающейся части орудия (рис. 169 и 170).

В XIX в. и в начале XX в. имел широкое применение стоечный прицел Петрушевского. Вдоль стойки этого прицела перемещался ползун (стебель). На ползуне находился целик, который можно было перемещать в направлении, перпендикулярном стойке прицела и оси канала ствола. Прицел предназначался для прямой наводки.

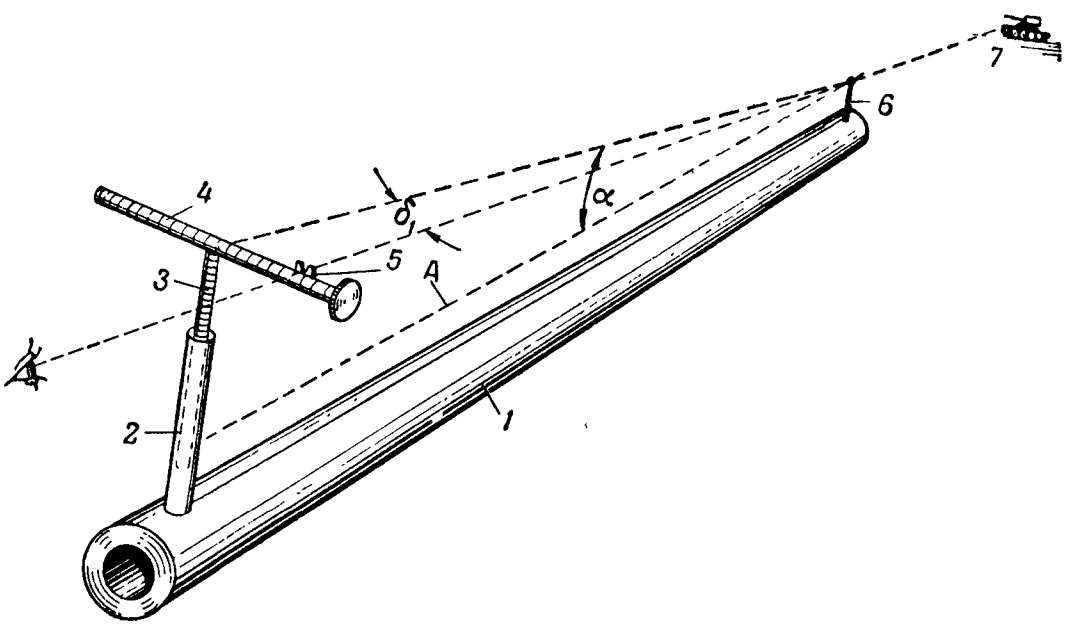


Рис. 185. Схема построения углов в стоечном прицеле:
1 — ствол; *A* — линия, параллельная оси канала ствола; *2* — основание стойки; *3* — выдвижной прицельный стебель; *4* — горизонтальная линейка со шкалой боковых углов прицеливания (δ_1); *5* — целик; *6* — мушка; *7* — цель

В первых образцах стоечного прицела с подвижным целиком (прицел Маркевича, рис. 169) целик перемещался только вдоль стойки.

В настоящее время стоечный прицел сравнительно широко применяется в пулеметах. Схема построения прицельных углов показана на рис. 185.

Преимущества стоечного прицела: простота конструкции, благодаря чему облегчается изготовление прицела и его эксплуатация.

Колодочный ступенчатый или фигурный механический прицел. Этот тип прицелов (рис. 186 и 187) имеет большое применение в стрелковом оружии. Он используется для прямой наводки при небольших дальностях стрельбы.

Прицел состоит из мушки, жестко связанной с качающейся частью оружия, и прицельной колодки с визирной рамкой.

У винтовки обр. 1891/30 г. колодка ступенчатая, а у самозарядной винтовки фигурная. На визирной рамке перемещается (вдоль рамки) ползун для установки требуемого угла прицеливания. Визирная рамка шарнирно закреплена на колодке прицела при помощи горизонтальной оси. Положение рамки фиксируется упором подвижного ползуна в один из уступов прицельной колодки или в одну из точек фигурной наружной поверхности колодки.

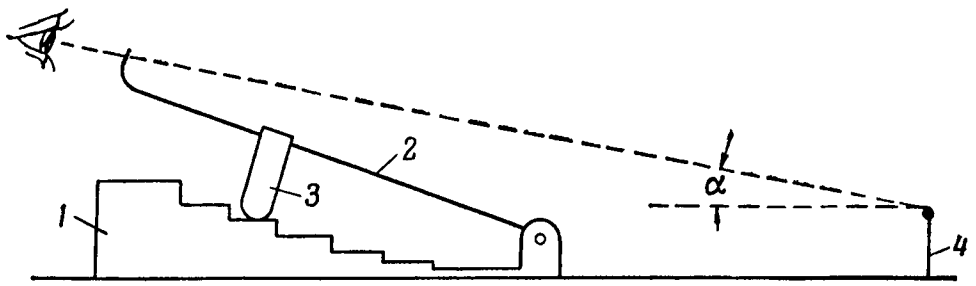


Рис. 186. Колодочный ступенчатый прицел:
1 — прицельная колодка со ступенями; *2* — рамка с прорезью; *3* — ползун на рамке; *4* — мушка

Колодочный прицел может применяться и в артиллерии, но только как запасный, для стрельбы на небольшие дальности, так как его точность значительно меньше точности оптических прицелов.

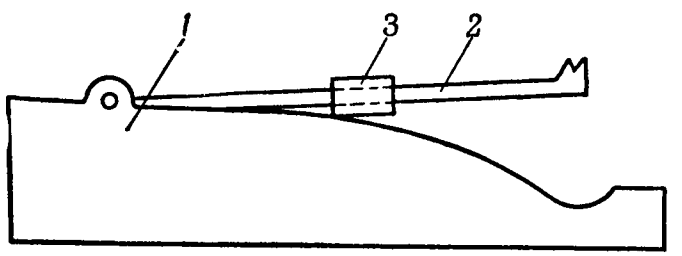


Рис. 187. Колодочный фигурный прицел:
1 — прицельная колодка с фигурным профилем; *2* — рамка с прорезью; *3* — ползун на рамке

Эксцентриковый, или кулачковый, прицел (рис. 188). Основание этого прицела может вращаться вокруг поперечной горизонтальной оси при помощи эксцентрика или кулачка, на который опирается основание прицела.

Визирное устройство, установленное на основании прицела, качается вокруг горизонтальной оси вместе с основанием прицела. При вращении эксцентрика меняется направление линии визирования относительно оси канала ствола (на рис. 188 наклонная пунктирная линия параллельна оси канала ствола) и таким образом строится прицельный угол α.

Визирное устройство может быть оптическое или механическое, иногда прицел может иметь одновременно два визира.

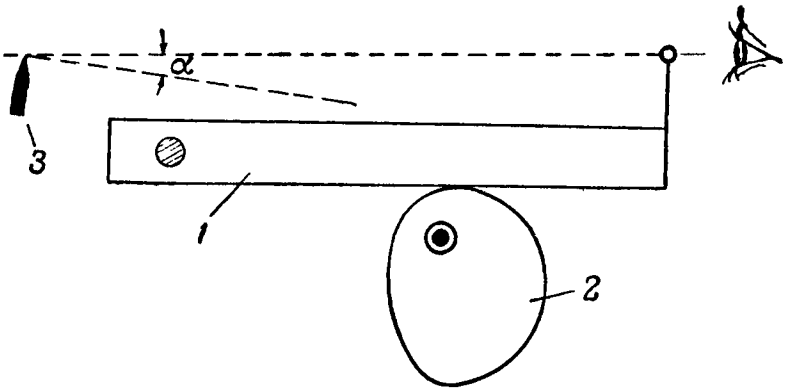


Рис. 188. Кулачковый, или эксцентриковый, прицел:
1 — основание прицела с визиром; *2* — кулачок или эксцентрик; *3* — мушка

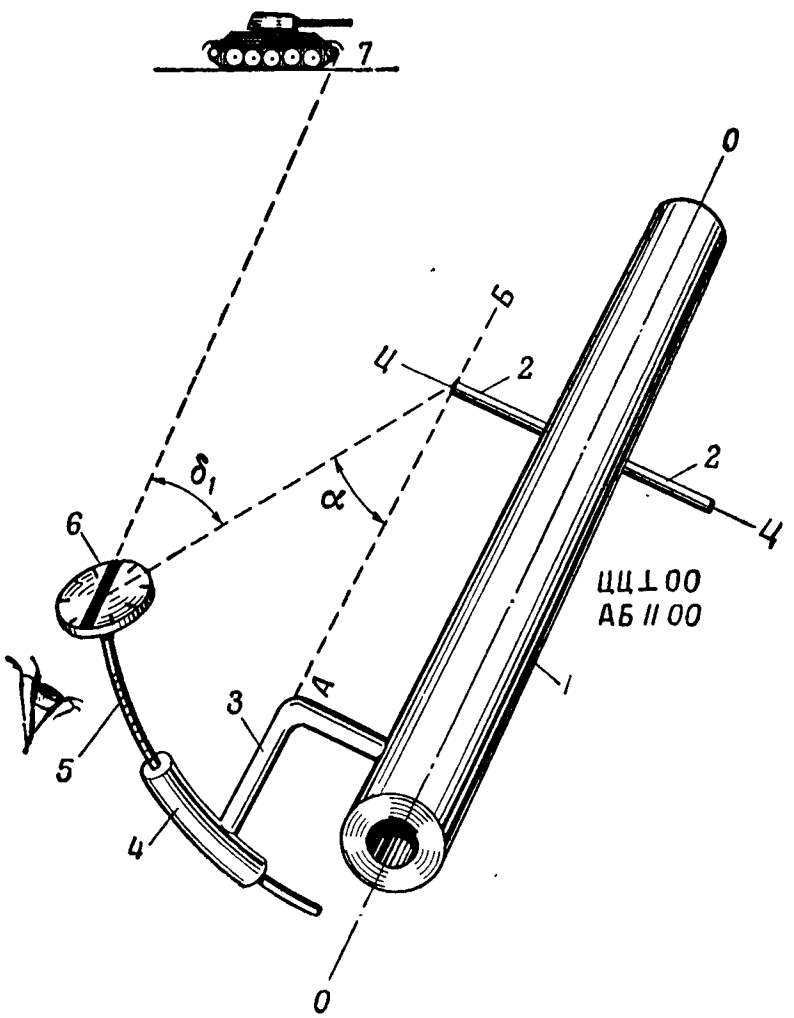


Рис. 189. Схема дугового некачающегося прицела и построения с помощью его основных прицельных углов при прямой наводке:
1 — ствол; *2* — цапфы люльки; *3* — кронштейн прицела; *4* — коробка прицела; *5* — стебель прицела со шкалой углов прицеливания; *6* — угломер со шкалой; *7* — цель

Преимущества кулачкового прицела: простота конструкции и обслуживания.

Недостаток кулачкового прицела: невысокая точность наводки при стрельбе на большие дальности.

Боковой угол прицеливания строится путем передвижения механического визира или всего основания прицела; кроме того, он может быть построен при помощи специальной сетки в поле зрения оптической визирной трубы.

Дуговой прицел без прицельной и орудийной стрелок. Дуговые прицелы являлись наиболее распространенными в русской наземной артиллерии XX в. Они и в настоящее время широко применяются в советской артиллерии.

На рис. 189—191 даны схемы дуговых прицелов и показано, как производится наводка при помощи этих прицелов.

Дуговые прицелы могут иметь оптический или механический визир. Оптический визир (панорама) для дуговых прицелов в русской полевой артиллерии был введен в 1906 г. Все современные дуговые прицелы оптические (панорамные). У дуговых прицелов визирное устройство установлено на дуговом стебле, который при построении прицельных углов перемещается в вертикальной плоскости, параллельной плоскости стрельбы. Дуговой стебель перемещается при помощи зубчатого зацепления по дуговому пазу коробки прицела, кроме того, он перемещается вместе со всем прицелом при работе механизмами наведения орудия (подъемным и поворотным). Обычно прицел крепится к левой цапфе люльки. В этом случае ось вращения дугового стебля совпадает с осью цапф люльки.

Благодаря такому креплению панорама после выполнения наводки при любом угле прицеливания занимает одно и то же положение по высоте при одном и том же угле места цели. Если для удобства обслуживания прицел установлен на станке лафета, то для сохранения постоянной связи между стеблем прицела и стволом применяется шарнирно-параллелограммный привод, связывающий цапфу люльки с осью прицела, являющейся осью вращения стебля прицела (см. рис. 211).

У прицелов с механическим визиром, состоящим из мушки на качающейся части орудия, и целика, установленного на стебле прицела, центр дуги прицела совпадает с вершиной мушки (рис. 185).

Шкалы углов прицеливания дуговых прицелов наносятся либо на поверхности стебля, либо на прицельном барабане, связанном со стеблем зубчатой передачей. Благодаря наличию прицельного барабана в несколько раз увеличивается длина шкал и, следовательно, повышается точность установки прицела; кроме того, на прицельном барабане может быть нанесено несколько шкал, соответствующих различным зарядам и снарядам.

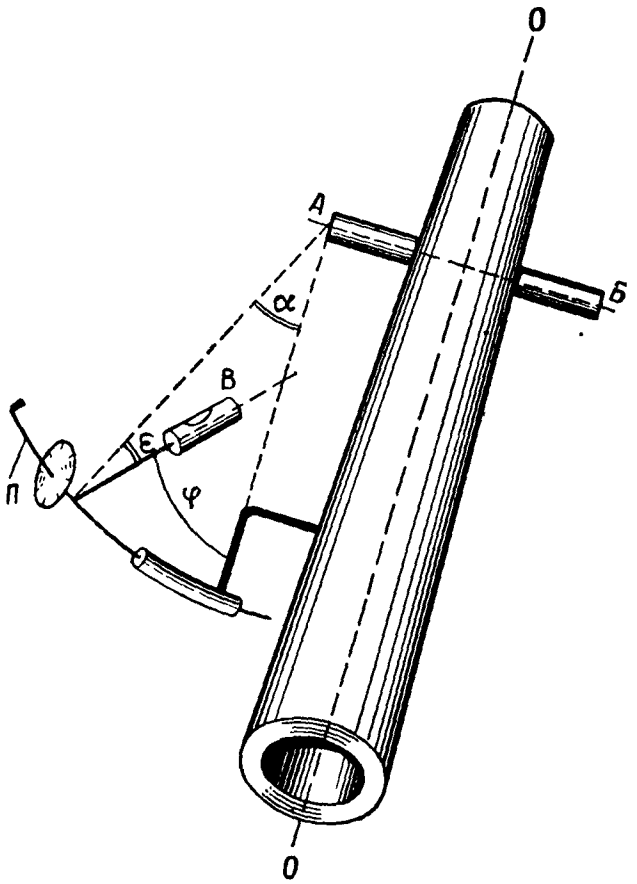


Рис. 190. Дуговой некачающийся прицел. Схема раздельного построения углов прицеливания и места цели при непрямой и полупрямой наводке:

ОО — ось канала ствола; *АБ* — ось цапф; *В* — боковой уровень; *П* — панорама

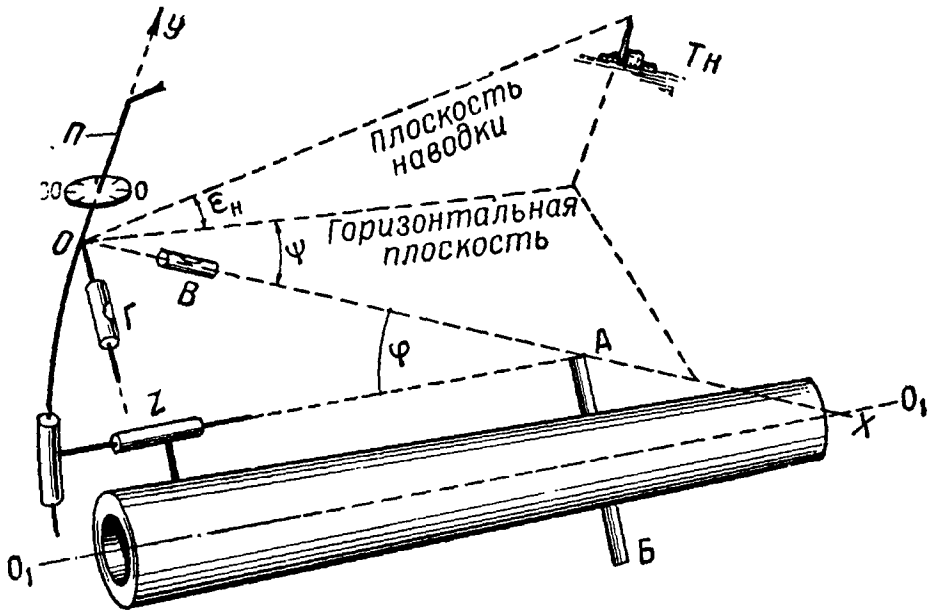


Рис. 191. Схема выполнения непрямой наводки с помощью дугового качающегося прицела:

O_1O_1 — ось канала ствола; *АБ* — ось цапф; *В* — боковой уровень; *Г* — поперечный уровень; *П* — панорама

Секторный прицел (рис. 192). У секторного прицела построение прицельных углов в вертикальной плоскости производится путем перемещения корпуса прицела с визиром и уровнями относительно оси ствола при помощи вертикального червячного сектора. Сектор неподвижно крепится к качающейся части орудия (пулемета), он может быть также связан

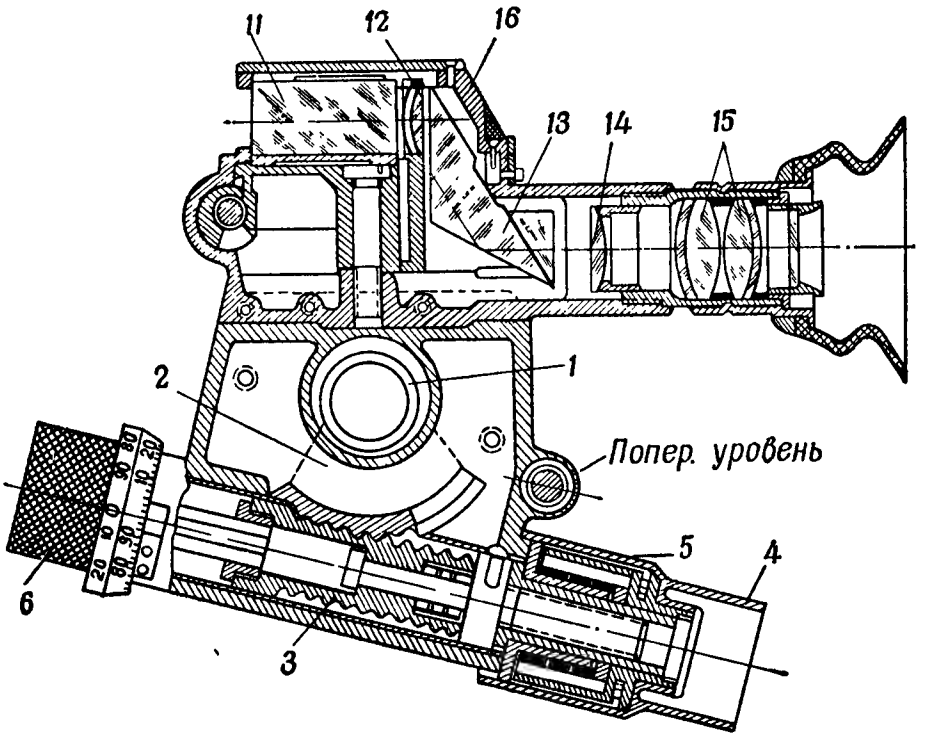


Рис. 192. Секторный прицел с панорамным визиром (пулеметный прицел обр. 1930 г.):

Механическая часть: *1* — ось сектора; *2* — червячный сектор; *3* — червяк углов прицеливания и углов места цели; *4* — маховик углов прицеливания; *5* — дистанционный барабан; *6* — маховик углов места цели

Оптическая часть: *11* — отражательная призма; *12* — объектив (линзы); *13* — призма объектива с троекратным отражением; *14* — конденсор (коллектив); *15* — окуляр; *16* — головка панорамы. Призмы *11* и *13* являются оборачивающей системой и доворачивающей изображение к оси окуляра

параллелограммной тягой с цапфой люльки. Образцом прицела секторного типа является панорамный прицел станкового пулемета, применявшийся также на противотанковых пушках малого калибра (на пушечном прицеле в отличие от пулеметного прицела имелись свои шкалы углов прицеливания и прицельная сетка).

Ось вращения сектора параллельна оси цапф люльки орудия.

Сектор прицела параллелограммным приводом (рис. 193) связан с цапфой люльки орудия, поэтому при вращении ствола вокруг оси цапф на тот же угол поворачивается и сектор прицела, а с ним и весь прицел.

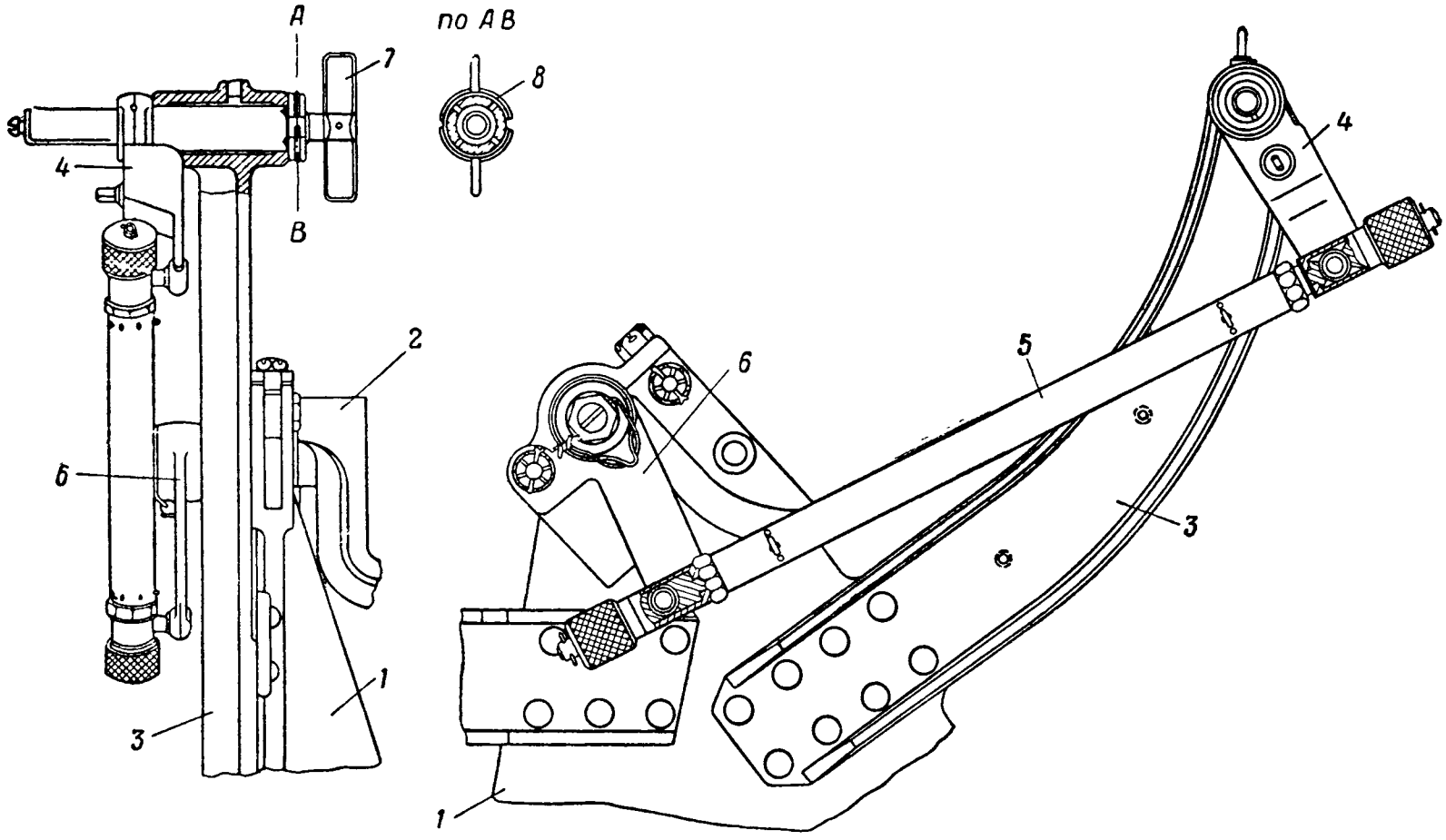


Рис. 193. Кронштейн прицела с тягой параллелограмма для установки прицела панорамно-пулеметного типа на противотанковой пушке

1 — верхний станок; *2* — цапфа люльки; *3* — кронштейн прицела; *4* — рычаг с осью прицела; *5* — тяга параллелограмма; *6* — рычаг с цапфой параллелограмма; *7* — винт с рукояткой для зажима прицела; *8* — стопорное кольцо

Минометные прицелы также являются секторными (рис. 194). Особенностью связи минометного прицела с орудием (минометом) является то, что прицел связан не с осью вращения качающейся части орудия, а с осью, параллельной оси вращения ствола и находящейся от нее всегда на одном и том же расстоянии, что равносильно применению параллелограммного привода.

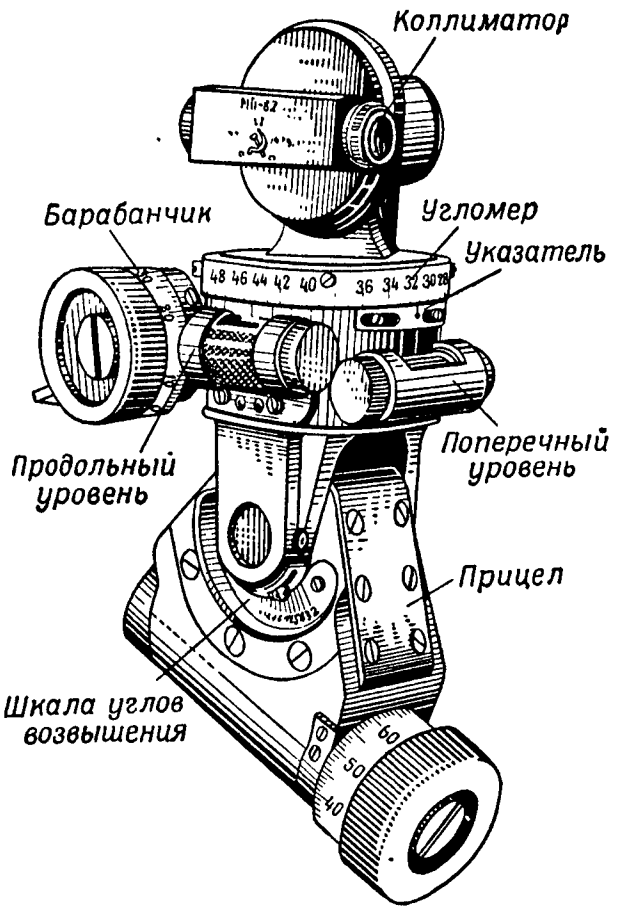


Рис. 194. Минометный прицел типа МП-82 с коллиматорным визиром

Барабанный прицел со стрелками (рис. 195). У данного типа прицела построение прицельных углов в вертикальной плоскости производится путем вращения вокруг горизонтальной оси дистанционного барабана, связанного с прицельной стрелкой. Между углом поворота стрелки и углом поворота барабана существует постоянная зависимость, определяемая передаточным числом зубчатого зацепления.

Для увеличения длины шкал дистанционный барабан не связывается жестко с прицельной стрелкой, а между барабаном и стрелкой вводится зубчатая передача, обеспечивающая увеличение в несколько раз угла поворота дистанционного барабана по сравнению с соответствующим углом поворота прицельной стрелки (рис. 202—204).

У прицелов с независимой линией прицеливания имеется два прицельных барабана — углов прицеливания и углов места цели, независимых между собой и связанных с прицельной стрелкой.

У прицелов с полузависимой линией прицеливания поворот прицельной стрелки на угол места цели осуществляется путем поворота всего прицела при помощи подъемного механизма прицела.

Прицельная стрелка жестко связана с цапфой коробки прицела, а дистанционный барабан (соединенный в одно целое с зубчатым барабаном) насажен на патрубок коробки и мо-

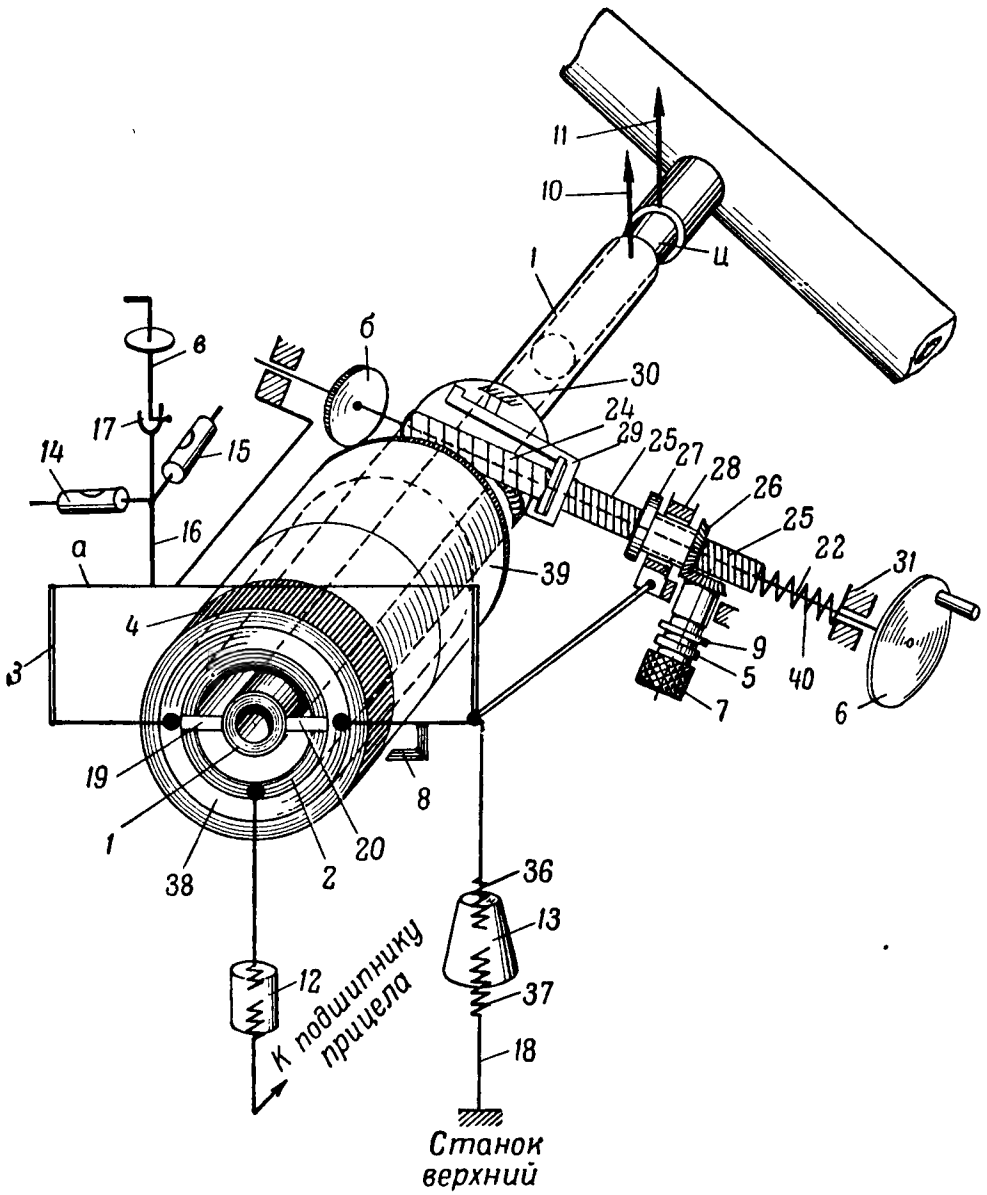


Рис. 195. Схема барабанного прицела со стрелками (не зависимого от орудия с независимой линией прицеливания). Наименование деталей и нумерация их общая для рис. 195, 202—203:

1 — подшипник прицела; *2* — цапфа прицела; *3* — коробка прицела; *4* — дистанционный барабан; *5* — барабан углов места цели; *6* — маховик механизма углов прицеливания; *7* — маховичок механизма углов места цели; *8* — указатель углов прицеливания; *9* — указатель углов места цели; *10* — прицельная стрелка; *11* — орудийная стрелка; *12* — механизм поперечного качания прицела; *13* — гайка шпинделя (груша) подъемного механизма прицела; *14* — боковой уровень; *15* — поперечный уровень; *16* — кронштейн корзинки панорамы; *17* — корзинка панорамы; *18* — нижняя серьга подъемного механизма прицела; *19* и *20* — вкладыши-цапфы для поперечного качания прицела; *22* — передаточный валик; *24* — червяк на передаточном валике *22* со шпонкой; *25* — пустотелый шпиндель; *26* — коническая шестерня; *27* — нарезное кольцо (для шестерни *26*); *28* — направляющее кольцо (для шестерни *26*); *29* — направляющая букса (связь *24* с *25*); *30* — направляющая цапфа (для буксы *29*); *31* — подшипниковая втулка; *36* — верхняя серьга; *37* — нижний шпиндель; *38* — патрубок коробки (часть коробки); *39* — зубчатый барабан (соединяется винтами с дистанционным барабаном *4*); *40* — пружина; *а* — площадка для контрольного уровня; *б* — винтовое колесо (часть валика *22*); *в* — визир (панорама); *Ц* — цапфа люльки

жет на нем вращаться. Передаточный валик механизма углов прицеливания имеет червяк и винтовое колесо. Червяк находится в зацеплении с цапфой *2* коробки прицела, а винтовое колесо — с дистанционным барабаном (через зубчатый барабан). Так как передаточные числа червячной и винтовой передачи различны, то при вращении передаточного валика цапфа со стрелкой поворачиваются вокруг горизонтальной оси на один угол (угол прицеливания), а прицельный барабан поворачивается на другой угол, который в несколько раз больше угла прицеливания.

Основным визирным устройством у барабанных прицелов со стрелками является панорама. Визирное устройство прицела связано не с прицельным барабаном и прицельной стрелкой, а с коробкой прицела. При работе подъемным механизмом орудия коробка прицела со всеми деталями прицела, находящимися в ней, не вращается.

С качающейся частью орудия жестко или через параллелограмм связана вторая стрелка — орудийная. Совмещение указателей орудийной и прицельной стрелок соответствует выполнению вертикальной наводки.

Наводка орудия выполняется двумя наводчиками. Первый наводчик делает установки на прицеле и таким образом строит прицельные углы; кроме того, он выполняет все операции по горизонтальной наводке. Второй наводчик, работая подъемным механизмом орудия, совмещает указатели орудийной и прицельной стрелок и тем самым придает стволу требуемый угол возвышения.

При непрямой наводке оба уровня прицела должны быть установлены горизонтально, а при прямой горизонтально устанавливается только поперечный уровень.

Прицел со стрелками в основном предназначен для орудий, ведущих огонь, как правило, непрямой наводкой.

§ 8. ОПТИЧЕСКИЕ ПРИЦЕЛЫ

В этом параграфе рассмотрены прицелы, у которых оптическая схема является основой построения прицельных углов.

В оптических прицелах получается изображение местности и прицельной сетки. На рис. 196 показана схема построения прицельных углов в оптическом прицеле; буквой *М* обозначена прицельная марка (перекрестие нитей). Оптические прицелы делятся на телескопические и панорамно-перископические.

Телескопическим прицелом называется такой прицел, который не обладает перископичностью наблюдения (например, винтовочный прицел). На рис. 197 показан один из телескопических прицелов, применявшихся в танках. Схема оптики показана на рис. 181.

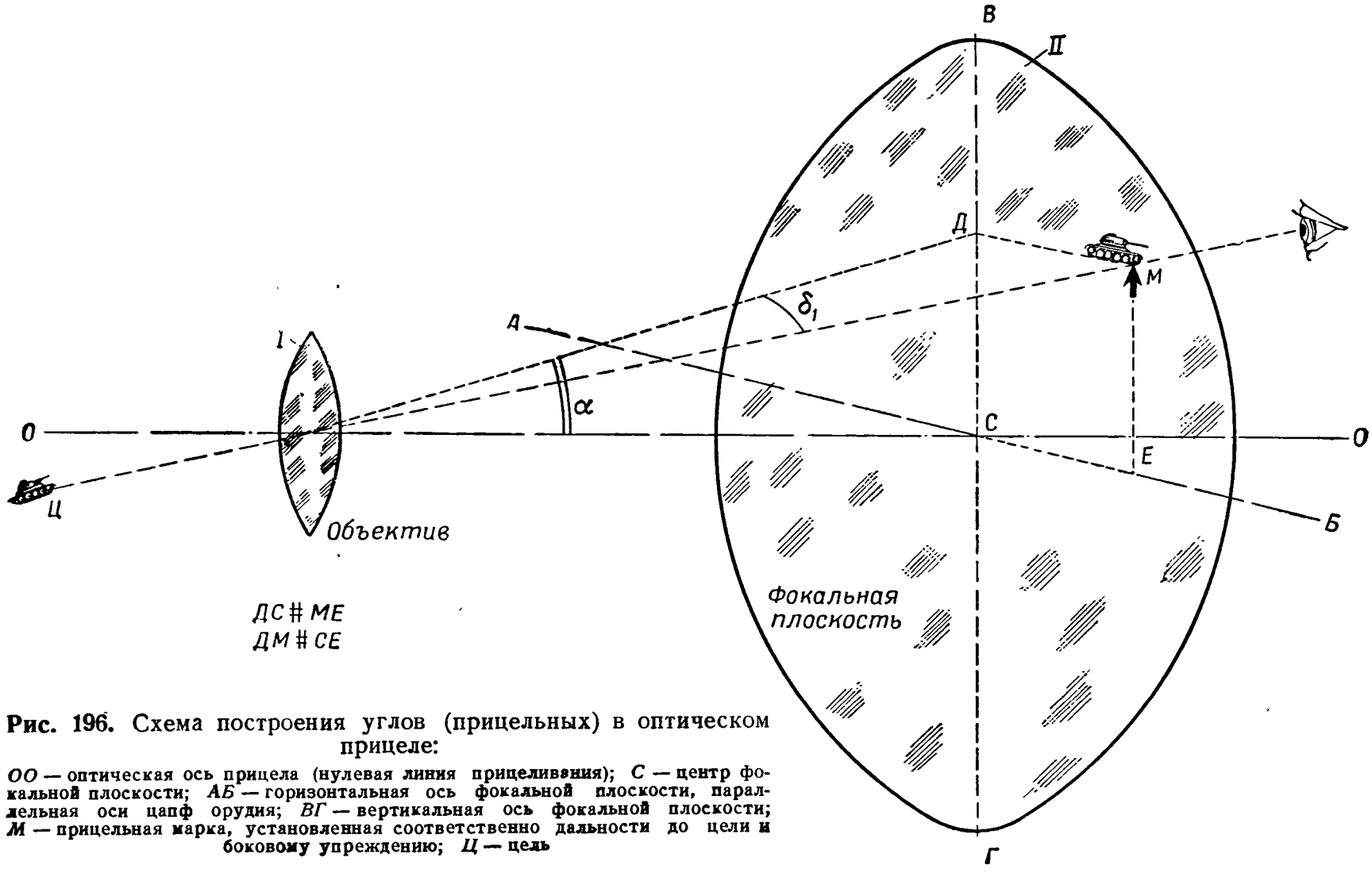


Рис. 196. Схема построения углов (прицельных) в оптическом прицеле:

ОО — оптическая ось прицела (нулевая линия прицеливания); *С* — центр фокальной плоскости; *АБ* — горизонтальная ось фокальной плоскости, параллельная оси цапф орудия; *ВГ* — вертикальная ось фокальной плоскости; *М* — прицельная марка, установленная соответственно дальности до цели и боковому упреждению; *Ц* — цель

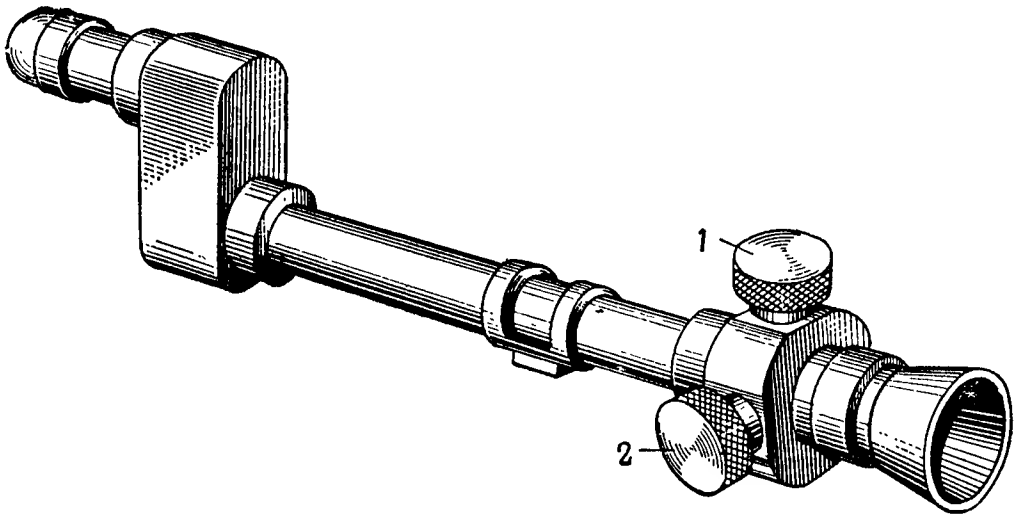


Рис. 197. Телескопический прицел (применялся на танках):

1 — маховичок механизма углов прицеливания; *2* — маховичок механизма боковых упреждений (боковых углов прицеливания)

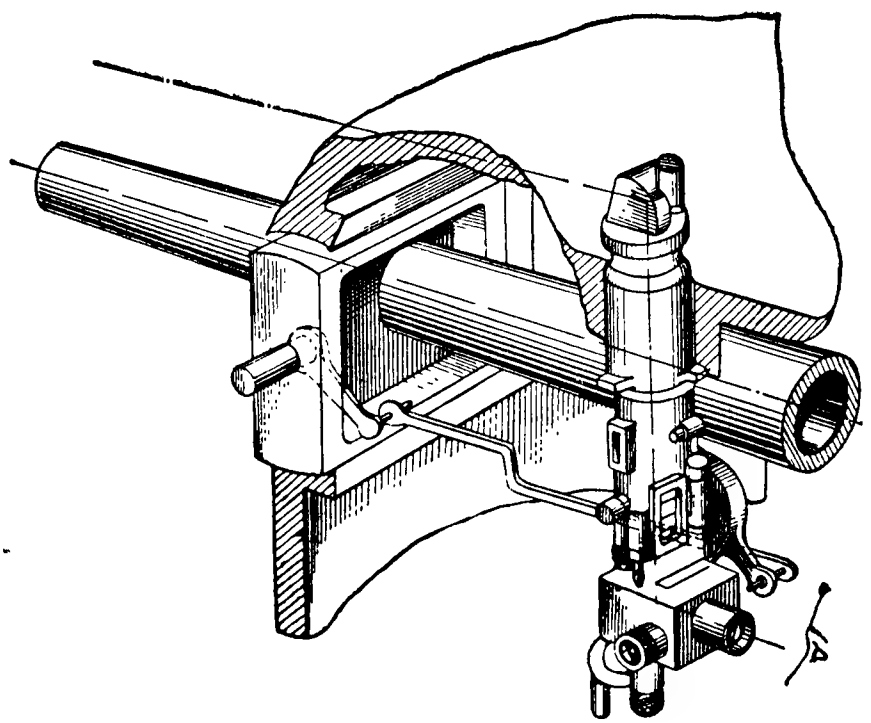


Рис. 198. Танковый панорамно-перископический прицел (прицел установлен в крыше башни танка; вращение орудия в вертикальной плоскости передается головной отражательной призме с помощью параллелограммного механизма, перемещающего вертикальный толкатель, связанный с призмой)

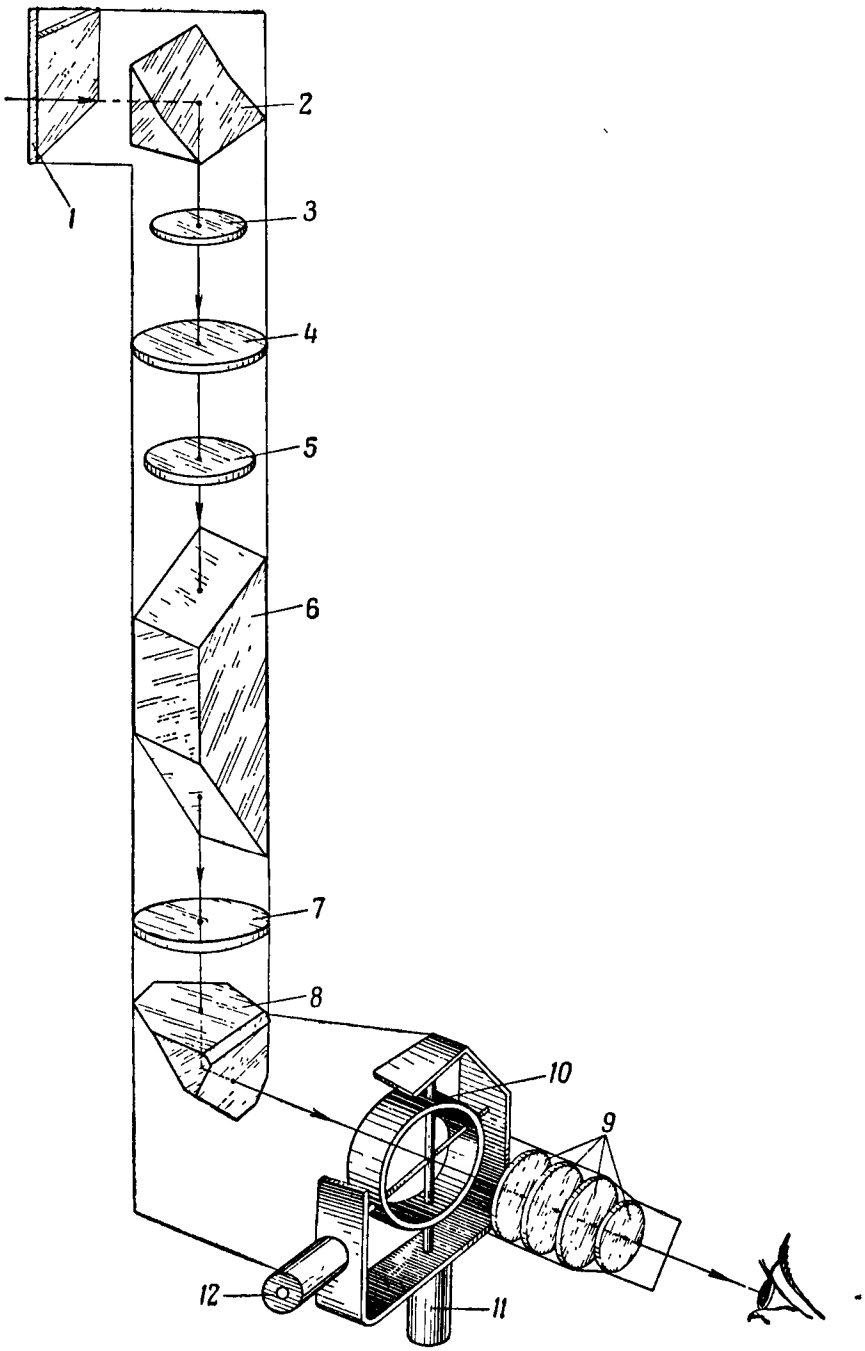


Рис. 199. Схема панорамно-перископического прицела (танкового):

1 — защитное стекло; *2* — головная отражательная призма; *3* — объектив; *4* — конденсор (коллектив); *5* и *7* — линзы оборачивающей системы; *6* — трапецевидная доворачивающая призма (компенсирует действие поворота головной призмы); *8* — крышеобразная призма; *9* — линзы окуляра; *10* — кольцо с прицельными нитями (нити помещаются в фокальной плоскости окуляра); *11* — маховичок механизма углов прицеливания, перемещающего кольцо с нитями вверх или вниз; *12* — маховичок механизма углов бокового упреждения, перемещающего кольцо с нитями вправо или влево

Панорамно-перископическим прицелом называется такой прицел, который обладает перископичностью наблюдения. Головную часть прицела можно вращать вокруг оси, перпендикулярной к оси окуляра; это позволяет строить углы наводки и наблюдать за полем боя (рис. 198 и 199).

Телескопические прицелы подразделяются на жесткие и шарнирные.

Телескопический прицел называется жестким (рис. 181 и 197), если объектив и окуляр его жестко связаны между собой (собраны в одной трубе — корпусе).

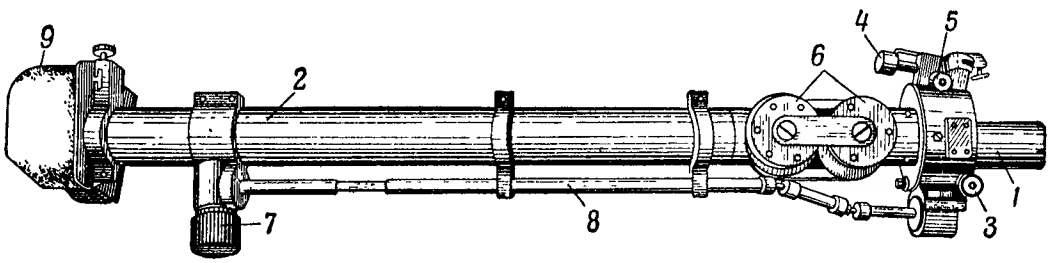


Рис. 200. Телескопический шарнирный прицел обр. 1943 г. (ТШ) — вид справа:

1 — головная часть; *2* — основная труба; *3* — правая цапфа головной части прицела; *4* — винт зуба крепления прицела к люльке; *5* — патрон электролампочки; *6* — корпусы оптического шарнира; *7* — маховичок механизма углов прицеливания; *8* — карданный валик механизма углов прицеливания; *9* — налобник

Телескопический прицел называется шарнирным (рис. 200 и 201), если объектив и окуляр его собраны в отдельных трубах, связанных шарнирно. Оси объектива и окуляра этого прицела находятся в одной плоскости, параллельной плоскости стрельбы.

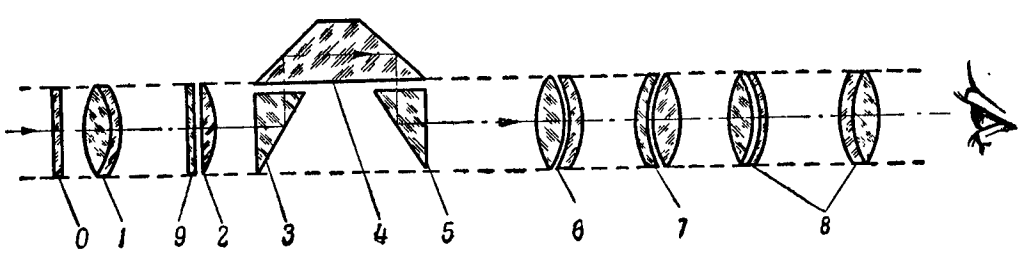


Рис. 201. Схема оптики шарнирно-телескопического прицела:

О — защитное стекло; *1* — объектив; *2* — конденсор; *3*, *4*, *5* — прямоугольные отражательные призмы (вместо них могут быть две пары попарно параллельных плоских зеркал); *6* и *7* — линзы оборачивающей системы; *8* — линзы окуляра; *9* — пластинка с прицельной сеткой

Телескопическо-шарнирные прицелы широко применяются в танковых орудиях.

Телескопический жесткий прицел крепится к качающейся части орудия (непосредственно или при помощи параллело-

граммного механизма) и качается вместе с ней при вертикальной наводке. В этом случае наводчик обязан непрерывно менять положение головы по высоте.

Телескопическо-шарнирный прицел крепится окулярной частью к станку орудия или крыше башни, а передней трубой — к качающейся части орудия. Такой прицел более удобен для работы наводчика, так как окуляр во время вертикальной наводки остается неподвижным (рис. 213).

Панорамно-перископический прицел по сравнению с телескопическо-шарнирным прицелом имеет преимущества: у него больший обзор и бо́льшая перископичность; при помощи его можно производить непрямую наводку. Но он имеет и недостаток — значительные мертвые хода в шарнирной механической связи прицела с орудием. На рис. 198 показана установка прицела в танке.

§ 9. ПРИЦЕЛЫ ЗАВИСИМЫЕ И НЕ ЗАВИСИМЫЕ ОТ ОРУДИЯ

Прицел называется з а в и с и м ы м о т о р у д и я, если при работе подъемным механизмом орудия визирное устройство прицела перемещается вместе с качающейся частью орудия (например, прицелы противотанковые и минометные).

Зависимые прицелы весьма удобны для прямой наводки, выполняемой одним наводчиком, так как при визировании по цели орудию автоматически придается угол места цели и наводку можно выполнять без уровня, т. е. не отрывая глаза от окуляра.

Прицел называется н е з а в и с и м ы м о т о р у д и я, если визирное устройство прицела остается неподвижным во время работы подъемным механизмом орудия (например, прицел 152-*мм* гаубицы-пушки). Независимые прицелы весьма удобны для выполнения непрямой наводки, так как в процессе всей стрельбы и вертикальной наводки линия визирования не меняет своего положения в пространстве.

Внешним признаком прицелов, не зависимых от орудия, является наличие орудийной и прицельной стрелок.

Преимущества не зависимого от орудия прицела: несбиваемость линии визирования во время изменения положения ствола в вертикальной плоскости, возможность выполнения наводки двумя наводчиками (ускоряется наводка) и возможность заряжания орудия в процессе наводки. Однако устройство прицела, не зависимого от орудия, сложнее устройства прицела, зависимого от орудия.

В батальонной, полковой, дивизионной, танковой, противотанковой и авиационной артиллерии, как правило, применяют прицелы, зависимые от орудия.

§ 10. НАЗНАЧЕНИЕ ПОПЕРЕЧНОГО УРОВНЯ И ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА КАЧАЮЩЕГОСЯ ПРИЦЕЛА

Для обеспечения точности наводки необходимо предварительно на прицеле правильно построить прицельные углы. Прицельные углы являются диагональными углами по отношению к углам на местности. На прицеле (для наземной артиллерии) должны быть построены три угла — угол места цели, угол прицеливания и угол наводки. Первые два угла должны быть построены в вертикальной плоскости, параллельной плоскости стрельбы, а третий — в горизонтальной плоскости.

Установить плоскость вертикально или горизонтально можно при помощи уровней.

Плоскость, в которой строят углы места цели и прицеливания, устанавливается строго вертикально при помощи уровня, расположенного перпендикулярно к этой (прицельной) плоскости. Уровень этот перпендикулярен к оси канала ствола и называется поперечным уровнем.

Плоскость, в которой строится прицельный угол наводки ψ, устанавливается горизонтально при помощи двух взаимно перпендикулярных уровней — поперечного и бокового (продольного).

Установка поперечного уровня в горизонтальное положение может производиться путем качания либо всего лафета при установке орудия (как у пулеметного прицела), либо одного прицела, если прицел имеет шарнирную связь с лафетом (как у нормализованного прицела обр. 1930 г. и у всех современных дуговых и барабанных со стрелками прицелов наземной артиллерии).

Прицел, шарнирно связанный с лафетом в поперечном направлении и приспособленный к установке его по поперечному уровню независимо от положения лафета, называется качающимся (см. рис. 174, 202 и 204).

Прицел, жестко связанный с лафетом в поперечном направлении и не горизонтирующийся по поперечному уровню без качания орудия, называется некачающимся (см. рис. 192 и 194).

Качающийся прицел по сравнению с некачающимся имеет большое преимущество. Он быстро принимает правильное положение независимо от установки орудия на местности. Этим обеспечивается быстрота перевода системы в боевое положение и соответствие прицельных углов углам на местности, благодаря чему наводка орудия может быть точно выполнена без предварительного горизонтирования всего орудия в поперечном направлении (пояснение см. в § 16 настоящей главы).

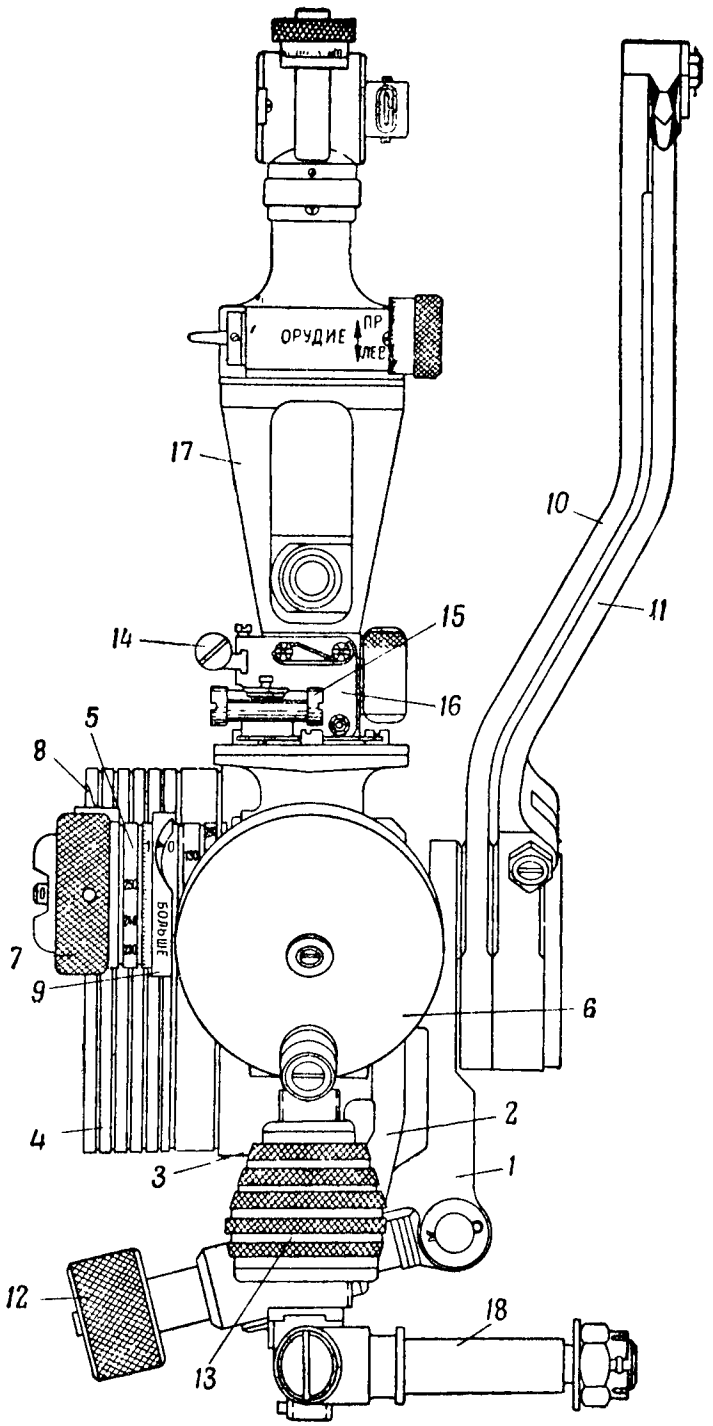


Рис. 202. Прицел с независимой линией прицеливания (вид сзади):

1 — подшипник прицела; *2* — цапфа прицела; *3* — коробка прицела; *4* — дистанционный барабан; *5* — барабан углов места цели; *6* — маховик механизма углов прицеливания; *7* — маховичок механизма углов места цели; *8* — указатель углов прицеливания; *9* — указатель углов места цели; *10* — прицельная стрелка; *11* — орудийная стрелка; *12* — винт с маховичком механизма поперечного качания прицела; *13* — гайка шпинделя (груша) подъемного механизма прицела; *14* — боковой уровень; *15* — поперечный уровень; *16* — кронштейн корзинки панорамы; *17* — корзинка панорамы; *18* — нижняя серьга

§ 11. ПРИЦЕЛЫ С НЕЗАВИСИМОЙ, ПОЛУНЕЗАВИСИМОЙ И ЗАВИСИМОЙ ЛИНИЯМИ ПРИЦЕЛИВАНИЯ

Линией прицеливания называется направление линии визирования при построенных прицельных углах (места цели, прицеливания и наводки).

При данной точке наводки при любых прицельных углах в наведенном орудии линия визирования занимает в пространстве одно и то же положение и всегда совпадает с линией наводки.

При изменении прицельных углов в вертикальной плоскости (углов места цели и прицеливания) у одних прицелов линия визирования отклоняется с наведенного направления, а у других остается в прежнем положении.

Прицел, у которого в процессе изменения прицельных углов места цели и прицеливания линия визирования не меняет своего положения в пространстве (рис. 195, 202 и 203), называется прицелом с независимой линией прицеливания. Прицел, у которого линия визирования не

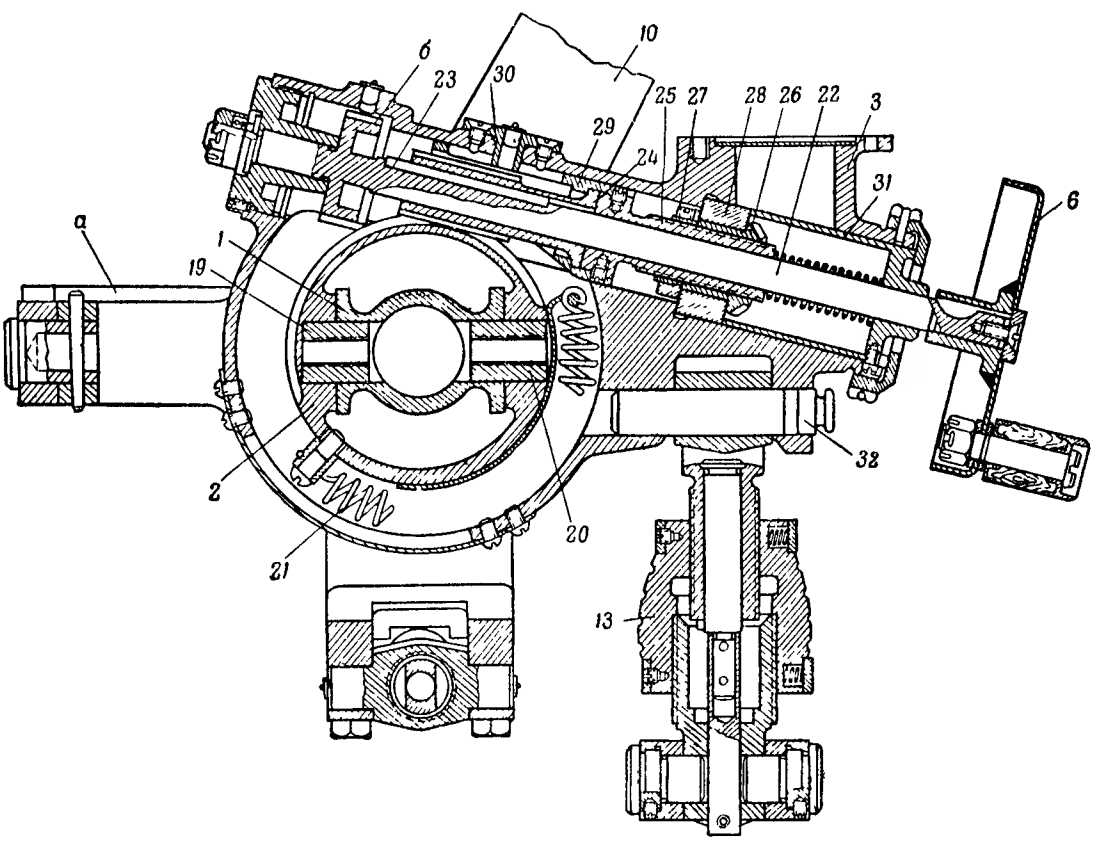


Рис. 203. Продольный вертикальный разрез прицела с независимой линией прицеливания. Значение первых номеров надписей см. на рис. 202:

19 и *20* — вкладыши (цапфы для поперечного качания прицела); *21* — натяжная пружина; *22* — передаточный валик; *23* — шпонка; *24* — червяк; *25* — пустотелый шпиндель; *26* — коническая шестерня; *27* — нарезное кольцо для шестерни *26*; *28* — направляющее кольцо для шестерни *26*; *29* — направляющая букса (перемещает червяк *24*, как гребенку); *30* — направляющая цапфа для буксы *29*; *31* — подшипниковая втулка; *32* — болт подъемного механизма прицела; *а* — площадка для контрольного уровня; *б* — винтовое колесо для связи с зубчатым барабаном *39* (см. рис. 195)

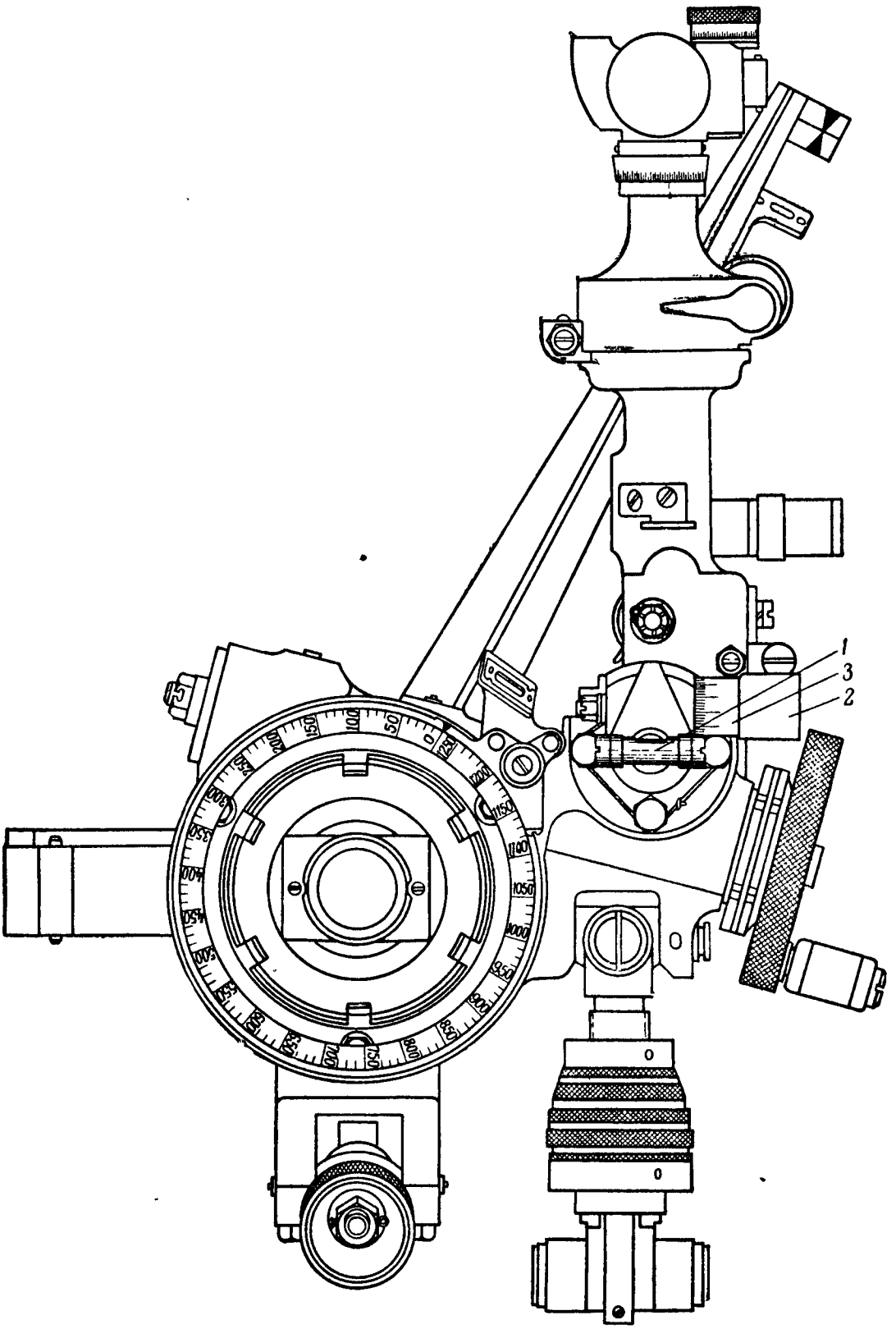


Рис. 204. Прицел с полунезависимой линией прицеливания:

1 — боковой уровень; *2* — червяк бокового уровня с маховиком; *3* — кольцо с делениями углов места цели

(названия основных деталей те же, что и у прицела с независимой линией прицеливания — рис. 195 и 202)

меняет своего положения в пространстве при изменении угла прицеливания и меняет положение при изменении угла места цели, называется прицелом с полунезависимой линией прицеливания (рис. 204).

Прицелы с независимой и полунезависимой линиями прицеливания являются основными для дивизионных гаубиц, для пушек и гаубиц крупных калибров наземной артиллерии.

Прицел, у которого линия визирования меняет свое положение в пространстве при изменении угла прицеливания, называется прицелом с зависимой линией прицеливания.

Все прицелы, зависимые от орудия, имеют зависимую линию прицеливания.

Типичным прицелом с зависимой линией прицеливания для нашей наземной артиллерии является прицел, установленный на 76-*мм* пушке обр. 1942 г. (рис. 211).

§ 12. ПРИМЕНЕНИЕ ПРИЦЕЛОВ С РАЗЛИЧНОЙ СТЕПЕНЬЮ ЗАВИСИМОСТИ ЛИНИИ ПРИЦЕЛИВАНИЯ

Прицелы с независимой и полунезависимой линиями прицеливания (прицелы со стрелками) предназначаются в основном для непрямой и полупрямой наводки, но могут быть использованы и для прямой наводки.

Все оптические прицелы со шкалами в поле зрения предназначаются для прямой наводки и имеют зависимую линию прицеливания.

Прицелы с боковым уровнем и панорамой пригодны для любой наводки.

Прицелы с независимой и полунезависимой линиями прицеливания, при которых наводка производится одновременно двумя наводчиками и орудие заряжается во время наводки, наиболее применимы для тяжелых систем, где приходится прилагать большие усилия при работе на маховиках. Применение этих прицелов в тяжелых системах позволяет ускорить процесс наводки и тем самым повысить скорострельность.

У орудий, предназначенных в основном для стрельбы прямой наводкой, должны применяться прицелы с зависимой линией прицеливания и механизмы наводки (подъемный и поворотный) должны быть устроены и расположены так, чтобы один наводчик мог одновременно работать двумя маховиками, не прилагая больших усилий.

Качающаяся часть этих орудий должна быть возможно лучше уравновешена.

Применять прицелы с зависимой линией прицеливания желательно во всех орудиях наземной артиллерии, от которых в условиях современных войн требуется маневренность и быстрота открытия огня при появлении танков. Целесообразно

располагать спусковые рукоятки (кнопки) рядом с наводчиком, чтобы он мог не только наводить в цель, но и стрелять, не прерывая наводки. Исключительно удобны для этой цели электроспуски.

Для обеспечения постоянной готовности к отражению неожиданных атак противника (пехоты, танков) следует на орудиях, имеющих прицелы с независимой линией прицеливания, устанавливать простейшие прицелы для стрельбы прямой наводкой на малые дальности. Кроме того, на орудиях, имеющих прицелы с независимой линией прицеливания, желательно ставить вторые маховики подъемного механизма для того, чтобы один наводчик, не меняя места, мог выполнять все операции по наводке орудия.

§ 13. СВЯЗЬ МЕЖДУ ТОЧНОСТЬЮ НАВОДКИ И ЗАВИСИМОСТЬЮ ЛИНИИ ПРИЦЕЛИВАНИЯ

Для наибольшей точности наведения орудия соответственно поданным командам необходимо обеспечить точность построения прицельных углов и ориентирования их относительно горизонта.

Это означает, что прицельный угол возвышения φ должен лежать строго в вертикальной плоскости и отсчитываться от горизонтальной линии, а прицельный угол наводки ψ должен лежать в горизонтальной плоскости.

Выполнение первого требования относительно расположения прицельного угла возвышения в вертикальной плоскости обеспечивается установкой прицела в вертикальной плоскости при помощи поперечного уровня (качанием одного прицела, если прицел качающийся, или качанием всего орудия, если прицел некачающийся).

Второе требование относительно отсчета угла возвышения от горизонтальной линии и горизонтирования плоскости прицельного угла наводки (плоскости угломера панорамы) выполняется путем горизонтирования корзинки панорамы при помощи двух уровней — бокового и поперечного. При непрямой и полупрямой наводке это требование выполняется при помощи прицелов с независимой линией прицеливания, с полунезависимой линией прицеливания, а также с зависимой линией прицеливания (речь идет о прицелах с панорамой и уровнями), если по шкале тысячных прицела откладывать алгебраическую сумму углов прицеливания и места цели.

Обычно угол прицеливания и угол места цели устанавливают раздельно по различным шкалам, поэтому прицелы с полунезависимой и зависимой линиями прицеливания не обеспечивают горизонтального положения плоскости угломера панорамы при угле места цели, отличном от нуля.

Исследование показывает, что для обычной наземной стрельбы прямой и полупрямой наводкой с малыми углами наводки ψ ошибка в горизонтальной наводке (рис. 205), связанная с наклоном плоскости угломера панорамы (поворот вокруг оси AA, параллельной оси цапф), ничтожна и ею можно пренебречь.

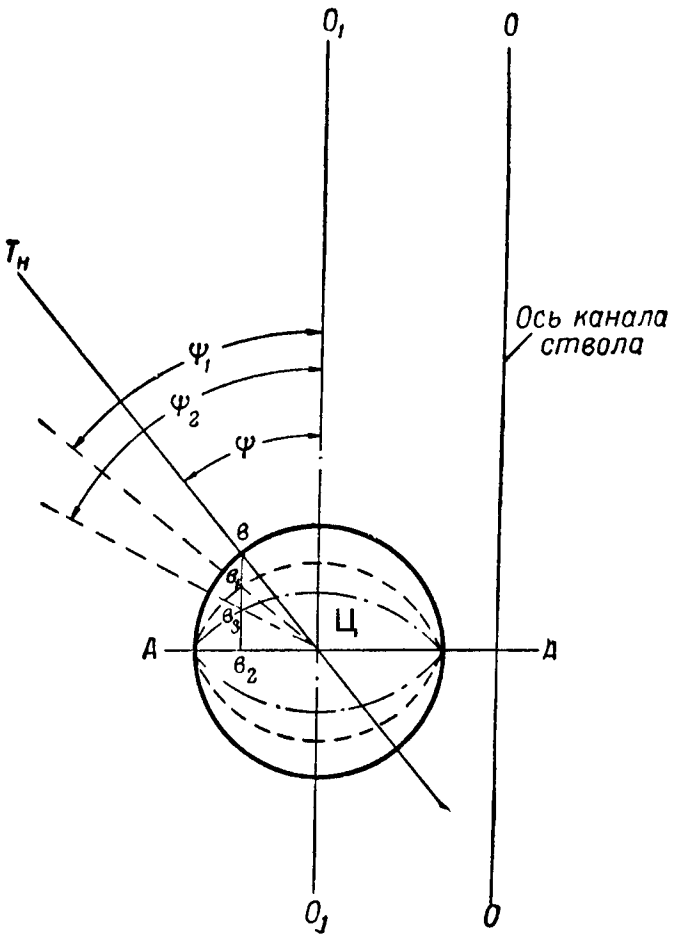


Рис. 205. Влияние продольного наклона плоскости угломера панорамы на горизонтальную наводку. Вид сверху. С увеличением угла наклона (см. рис. 206) увеличивается угол ψ (принимает значение ψ_1 и далее ψ_2)

На рис. 205 показаны три проекции угломерного круга на горизонтальную плоскость при трех значениях угла места цели: 0° (сплошная окружность), ε_1 (штриховой овал) и ε_2 (штрихпунктирный овал). На рисунке также показано, как при одной и той же установке угломера ($в$) угол горизонтальной наводки увеличивается с увеличением наклона плоскости угломерного круга (точка $в$ переходит в положения $в_1$ и $в_3$).

На рис. 206 (вертикальное сечение угломера по линии $вв_2$ плоскостью, параллельной плоскости стрельбы) показаны пе-

ремещение точки $в$ в $в_1'$ и в $в_3'$ и проекции этих точек на горизонт — $в_1$ и $в_3$. Из рис. 205 и 206 получим

$$\operatorname{tg}\psi_1 = \frac{Цв_2}{в_2в_1} = \frac{Цв\sin\psi}{вв_2\cos\varepsilon_1} = \frac{Цв\sin\psi}{Цв\cos\psi\cos\varepsilon_1} = \frac{\operatorname{tg}\psi}{\cos\varepsilon_1}.$$

Точка Ц — центр угломерного круга панорамы на рис. 205.

При непрямой наводке при небольших углах места цели (до 5°) ошибка в горизонтальной наводке, связанная с продольным наклоном плоскости угломера панорамы, не превышает 6 минут, т. е. она менее двух малых делений угломера. При больших углах места цели и значительных углах горизонтальной наводки ошибка в горизонтальной наводке при наклонном положении плоскости угломера панорамы может быть очень большой. Поэтому плоскость угломера у зенитных прицелов в боевом положении устанавливают в постоянное горизонтальное положение путем горизонтирования верхнего станка при помощи горизонтирующего механизма.

$в_1в_2 = вв_2\cos\varepsilon_1$

$вв_1 = вв_2 - в_1в_2 = вв_2(1-\cos\varepsilon_1)$

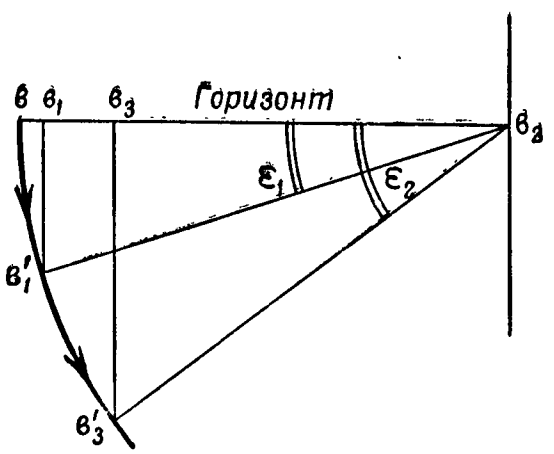


Рис. 206. Влияние продольного наклона плоскости угломера панорамы на горизонтальную наводку. Вид сбоку (см. рис. 205)

При продольном наклоне плоскости угломера панорамы во время горизонтальной наводки при любом угле места цели не будет ошибок, если точка наводки лежит в плоскости стрельбы или в вертикальной плоскости, перпендикулярной к плоскости стрельбы и проходящей через панораму (т. е. когда угол наводки $\psi = 0°$; 90°; 180°; 270° или угломер равен 30-00; 15-00; 0-00; 45-00).

Выводы о точности непрямой наводки при пользовании различными прицелами:

1. Прицел с независимой линией прицеливания при непрямой наводке дает большую точность горизонтальной наводки (что особенно важно при стрельбе на большие дальности и в горах).

2. Прицелы с полунезависимой и зависимой линиями прицеливания дают возможность произвести точную горизонтальную наводку (непрямую). Для этого необходимо устанавливать суммарно по шкале тысячных прицела угол места и угол

прицеливания или же выбирать точку наводки в плоскости стрельбы или в плоскости, перпендикулярной к ней.

3. При малых углах места цели ошибки горизонтальной наводки от наклона плоскости угломера панорамы настолько малы, что ими можно пренебречь.

4. Прицелы с зависимой линией прицеливания, как простейшие по конструкции и позволяющие выполнять точную наводку, должны широко применяться в наземной артиллерии.

§ 14. ВЛИЯНИЕ НАКЛОНА ОСИ ЦАПФ ЛЮЛЬКИ (ИЛИ ОСИ, ВОКРУГ КОТОРОЙ ВРАЩАЕТСЯ КАЧАЮЩАЯСЯ ЧАСТЬ ОРУДИЯ) НА НАВОДКУ ОРУДИЯ

Исследуем величины ошибок при горизонтальной и вертикальной наводках при некачающемся прицеле в случае наклона оси цапф люльки к горизонту.

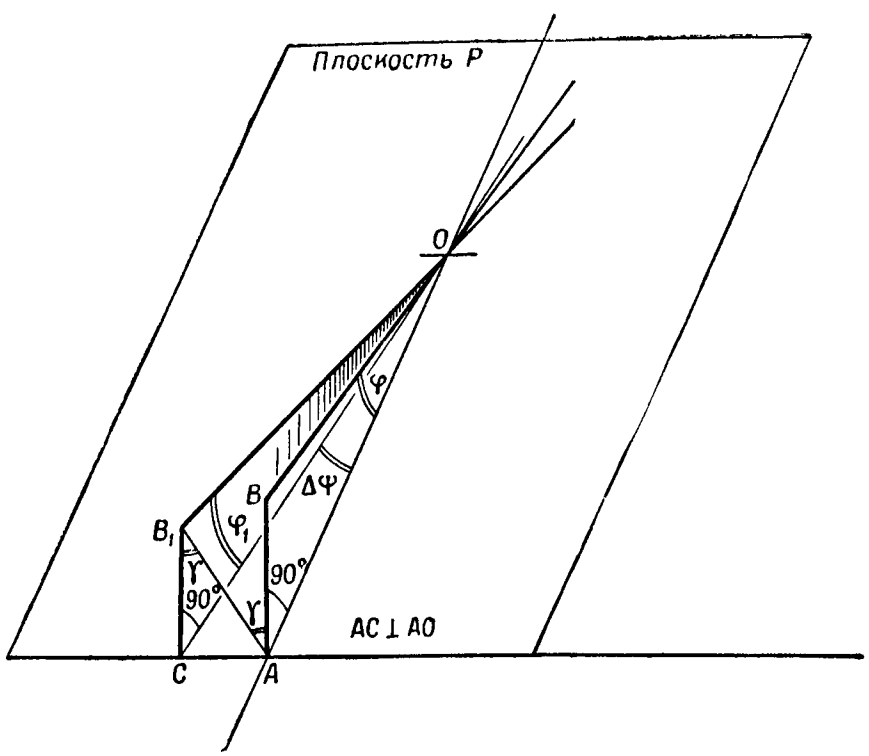


Рис. 207. Влияние наклона оси цапф люльки на горизонтальную и вертикальную наводку орудия

На рис. 207 показано положение прицельных углов. Плоскость P проходит через ось канала ствола и ось цапф люльки (будем считать, что ось цапф пересекает ось канала ствола и что центр O дуги стебля прицела находится на оси цапф). За исходное положение примем горизонтальное положение оси цапф и оси ствола.

Положение стебля прицела при горизонтальном положении оси цапф и при заданном угле возвышения φ определяется превышением стебля над плоскостью P. Это превыше-

ние равно вертикальному отрезку AB, перпендикулярному к плоскости P.

Считаем, что угол наводки $\psi = 0$.

Прицельный угол возвышения ($\angle AOB$) на рисунке обозначен через φ. Линией визирования при этом будет линия OB.

Допустим, что орудие повернуто вокруг оси ствола на угол γ против часовой стрелки.

Прицельная плоскость угла возвышения займет наклонное положение (было положение AOB, стало AOB_1). Превышение стебля прицела над горизонтальной плоскостью P равно вертикальному отрезку B_1C.

Вследствие наклонного положения плоскости AB_1O фактический угол возвышения будет равен $\angle B_1OC$, который лежит в вертикальной плоскости B_1OC.

В связи с переходом точки B в точку B_1 появится боковое отклонение линии визирования на угол, равный $\Delta\psi$.

Следовательно, ошибки от наклона оси цапф равны: в вертикальной плоскости $\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi$, в горизонтальной плоскости $\Delta\psi = \angle COA$.

Для определения φ_1 (нового угла возвышения, соответствующего прежней неизменной установке прицела и наклону оси цапф люльки на угол γ) воспользуемся следующими зависимостями:

$$\text{из } \triangle AOB \quad \sin\varphi = \frac{AB}{OB};$$

$$\text{из } \triangle COB_1 \quad \sin\varphi_1 = \frac{B_1C}{OB_1};$$

$$\text{из } \triangle AB_1C \quad B_1C = AB_1\cos\gamma.$$

Имея в виду, что $OB = OB_1$ и $AB = AB_1$, получим

$$\frac{\sin\varphi_1}{\sin\varphi} = \frac{B_1C}{AB} = \cos\gamma,$$

откуда

$$\boxed{\sin\varphi_1 = \sin\varphi\cos\gamma} \quad \text{и} \quad \boxed{\varphi_1 < \varphi}$$

Это — основная формула для определения фактического угла возвышения φ_1 при заданной установке по прицелу φ и при наклоне оси цапф люльки на угол γ.

Для определения $\Delta\psi$ ошибки в горизонтальной наводке воспользуемся зависимостями:

$$\text{из } \triangle AOC \quad \operatorname{tg}\Delta\psi = \frac{CA}{AO};$$

$$\text{из } \triangle AB_1C \quad CA = AB_1 \sin\gamma = AB \sin\gamma;$$

$$\text{из } \triangle ABO \quad \operatorname{tg}\varphi = \frac{AB}{AO}.$$

Следовательно,

$$\operatorname{tg}\Delta\psi = \frac{AB\sin\gamma}{AO} = \operatorname{tg}\varphi \sin\gamma.$$

Рабочей формулой для определения величины бокового углового отклонения вследствие наклона оси цапф на угол γ является:

$$\boxed{\operatorname{tg}\Delta\psi = \operatorname{tg}\varphi \sin\gamma}$$

Примечание. Вывод сделан для непрямой наводки. При прямой наводке угол места цели по прицелу не откладывается, поэтому в формулу войдет не угол возвышения, а угол прицеливания.

Формулы для расчетов углов при прямой наводке:

для отыскания истинного угла прицеливания (α_1)

$$\sin\alpha_1 = \sin\alpha \cdot \cos\gamma, \text{ т. е. } \alpha_1 < \alpha;$$

для отыскания боковой ошибки ($\Delta\psi$)

$$\operatorname{tg}\Delta\psi = \operatorname{tg}\alpha \sin\gamma.$$

Конкретные значения ошибок $\Delta\alpha$ и $\Delta\psi$ приведены ниже в таблицах ($\Delta\alpha < 0$).

Так как некачающиеся прицелы предназначены в основном для прямой наводки, то ошибки (см. таблицы) вычислены для углов прицеливания α. Этими же таблицами можно пользоваться и для непрямой наводки, только вместо угла прицеливания α следует подставлять угол возвышения φ.

Таблица значений $|\Delta\alpha| = \alpha_1 - \alpha$ в зависимости от α и γ

α \ γ	1°	2°	3°	4°	5°	6°	8°	10°
5°	0°	0°	0°	1′	1′	2′	3′	5′
10°	0°	0°	1′	1′	2′	3′	6′	10′
20°	0°	1′	2′	3′	5′	7′	12′	19′
30°	0°	1′	3′	5′	8′	11′	19′	30′
40°	0°	2′	4′	7′	11′	16′	28′	44′
50°	1′	3′	6′	10′	16′	22′	40′	1°02′
60°	1′	4′	8′	14′	22′	32′	57′	1°28′

Таблица боковых отклонений $\Delta\psi$ в зависимости от α и γ

α \ γ	1°	2°	3°	4°	5°	6°	8°	10°
2°	2′	4′	6′	8′	10′	12′	16′	20′
5°	5′	10′	16′	21′	26′	32′	42′	52′
10°	11′	21′	32′	42′	52′	1°03′	1°24′	1°45′
20°	22′	42′	1°05′	1°27′	1°49′	2°11′	2°54′	3°37′
30°	35′	1°09′	1°44′	2°18′	2°53′	3°27′	4°36′	5°44′
40°	50′	1°41′	2°31′	3°21′	4°11′	5°01′	6°40′	8°17′
50°	1°11′	2°23′	3°34′	4°45′	5°56′	7°07′	9°25′	11°42′
60°	1°44′	3°28′	5°11′	6°53′	8°35′	10°15′	13°33′	16°44′

Из этих таблиц следует:

I. Ошибки в вертикальной плоскости при стрельбе прямой наводкой на малые дальности (когда α не превышает 10° и γ не превышает 6°) настолько малы, что ими можно пренебречь.

II. Ошибки в горизонтальной плоскости во много раз больше ошибок в вертикальной плоскости. Поэтому всегда следует стремиться стрелять с горизонтальной площадки.

Стрельбу из противотанковых и танковых пушек чаще всего приходится вести при малых углах прицеливания, значительно менее 5°. Такая стрельба допустима без ввода поправок $\Delta\alpha$ на наклон оси цапф. При стрельбе с некачающимся прицелом обязательно должно быть достигнуто максимально возможное поперечное горизонтирование орудия. Для гаубиц, мортир и пушек, стреляющих на большие дальности, ввод поправок обязателен, если прицел не был отгоризонтирован. Минометы, если они не имеют качающегося прицела, горизонтировать необходимо очень точно при помощи горизонтирующего механизма.

Чтобы иметь представление о действительных углах возвышения на различных дальностях стрельбы по танкам прямой наводкой, рассмотрим следующую таблицу.

Величина углов прицеливания для стрельбы на малые дальности

Название системы	Тип снаряда	Дальность стрельбы *м*	Угол прицеливания тыс.	Угол прицеливания гр.	Примечание
76-*мм* пушка обр. 1942 г.	Бр.350	1000	12	0°43′	
		2000	27	1°37′	
	ОФ-350	1000	12	0°43′	
		2000	27	1°37′	
		3000	45	2°42′	

Продолжение

Название системы	Тип снаряда	Дальность стрельбы *м*	Угол прицеливания тыс.	Угол прицеливания гр.	Примечание
122-*мм* гаубица обр. 1938 г.	ОФ-462	1000 2000 3000	20 44 72	1°12′ 2°39′ 4°20′	При полном заряде
152-*мм* гаубица обр. 1938 г.	ОФ	1000 2000 3000	21 45 72	1°16′ 2°42′ 4°20′	

Из этой таблицы видно, что для стрельбы прямой наводкой по танкам (дальность до 2000 *м*) угол прицеливания у современных пушек меньше 2°, а у гаубиц при стрельбе полным зарядом — меньше 3°.

Таблица значений $\Delta\psi$ показывает, что при стрельбе прямой наводкой по танкам допустим наклон оси цапф не более чем на 2°, так как при этом ошибка $\Delta\psi$ уже превышает одно деление угломера (3,6′).

Кроме того, таблица значений $\Delta\psi$ показывает, что даже для танков, стреляющих с хода прямой наводкой на малые дальности, поперечное горизонтирование прицела необходимо, что достигается путем подбора горизонтальной площадки для танка.

Ошибка $\Delta\psi$ тем меньше, чем меньше прицельный угол α. Уменьшение прицельного угла для повышения меткости при стрельбе на одну и ту же дальность одинаковыми снарядами может быть достигнуто путем увеличения начальной скорости снаряда (траектория снаряда будет более настильная). Особенно это важно для танков и самоходных установок.

§ 15. О НАПРАВЛЕНИИ ОТКЛОНЕНИЙ ЛИНИИ ВЫСТРЕЛА ПРИ НАКЛОНЕ ОСИ ЦАПФ ЛЮЛЬКИ

При повороте орудия вокруг оси канала ствола против часовой стрелки на угол γ (как показано на рис. 207), т. е. когда правая цапфа поднимается, а левая опускается, панорама уходит влево вниз, передний же конец линии визирования отходит от точки наводки вправо вверх.

Для возвращения линии визирования в прежнее положение необходимо при помощи подъемного механизма поднять казенную часть ствола, а при помощи поворотного механизма повернуть казенную часть ствола вправо. При неизменных установках на прицеле и при сохранении направления линии

прицеливания это приведет к отклонению переднего конца ствола вниз и влево.

Таким образом, подъем правой цапфы люльки при неизменных установках на некачающемся прицеле вызывает уменьшение угла возвышения и отклонение плоскости стрельбы влево.

При подъеме же левой цапфы произойдет уменьшение угла возвышения и отклонение плоскости стрельбы вправо (в сторону опущенной цапфы).

Вследствие наклона оси цапф при углах возвышения менее 45° дальность полета снаряда, как правило, уменьшается, а при углах возвышения более 45° увеличивается.

§ 16. ПРЕИМУЩЕСТВО КАЧАЮЩИХСЯ ПРИЦЕЛОВ

Представим себе, что ось цапф горизонтальна и орудие точно наведено в цель при прямой наводке и что поперечный уровень в этот момент стоит горизонтально (пузырек уровня находится посредине). Повернем все орудие вокруг оси ствола на некоторый угол γ (см. рис. 207). Прицел при этом повернется вокруг оси ствола также на угол γ, но линия выстрела сохранит свое положение в пространстве. Линия визирования займет в пространстве новое положение, и пузырек поперечного уровня отойдет от середины. Плоскость прицеливания (визирования), перпендикулярная плоскости угломера, займет наклонное положение.

Если, сохраняя наклонное положение оси цапф, повернуть прицел вокруг оси ствола (или вокруг оси, параллельной оси ствола) на угол γ в сторону, противоположную наклону оси цапф, то плоскость прицеливания (визирования) снова займет вертикальное положение. Направление линии визирования при этом будет соответствовать правильной наводке орудия при горизонтальном положении оси цапф. Пузырек поперечного уровня снова выйдет на середину.

Таким образом, поворачивая качающийся прицел, можно полностью устранить влияние наклона оси цапф на наводку, при этом не требуется ни горизонтировать ось цапф, ни изменять установки прицела. Это дает возможность быстро переводить орудие в боевое положение на неровной местности и быстро исправлять наводку.

При некачающемся прицеле влияние наклона оси цапф меньше сказывается на точности наводки при небольших дальностях стрельбы ($\alpha < 2°$). Поэтому прицелы, предназначенные для прямой наводки на небольшие дальности, делают для упрощения конструкции некачающимися. Устанавливать орудие с некачающимся прицелом следует так, чтобы ось цапф была горизонтальной.

§ 17. ПРИЦЕЛ С АВТОМАТИЧЕСКИМ УЧЕТОМ ДЕРИВАЦИИ

Для данного типа снаряда, начальной скорости и угла прицеливания деривация является вполне определенной величиной.

Так как деривация есть боковое отклонение снаряда, то поправку на деривацию следует вносить в установку угла наводки ψ, т. е. в угломер. На основании этого прицелы, автоматически учитывающие деривацию, должны при построении угла прицеливания автоматически отклонять линию визирования в сторону отклонения снаряда.

Автоматическое отклонение линии визирования для учета влияния деривации достигается благодаря применению так называемого наклонного стебля прицела (наклонный стебель широко применялся в русской артиллерии в период 1909—1930 гг.). Плоскость такого стебля наклонена по отношению к вертикальной плоскости стрельбы на угол γ при горизонтальном положении поперечного уровня (при правой нарезке канала ствола плоскость стебля наклонена вправо вниз, см. рис. 208).

При выдвижении стебля вверх панорама, установленная в корзинке, являющейся частью стебля, поворачивается так, что вызывает отклонение линии визирования вправо.

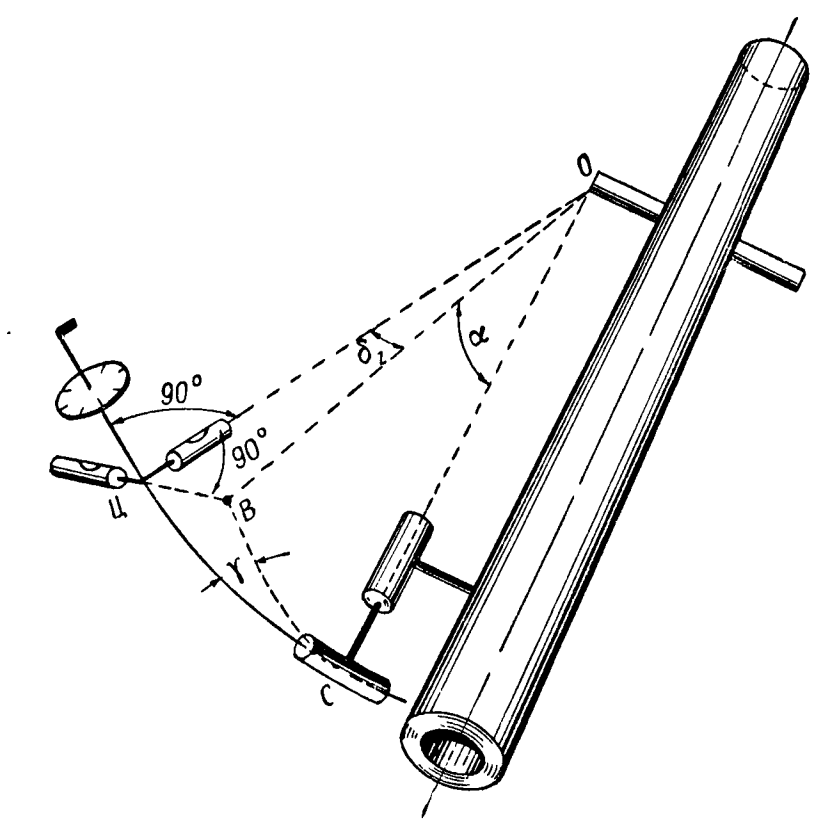


Рис. 208. Схема прицела, автоматически вводящего поправку на деривацию

Устройство такого прицела с наклонным стеблем основано на допущении, что угловая поправка угломера на деривацию δ_z примерно прямо пропорциональна углу прицеливания α.

Посмотрим, как это осуществлено в прицеле.

На схеме (рис. 208) сектор *СВО* лежит в вертикальной плоскости, параллельной плоскости стрельбы, сектор *ОЦВ* лежит в горизонтальной плоскости — плоскости угломера; сектор *СЦО* лежит в наклонной плоскости — плоскости стебля прицела.

Дугой *СВ* показан подъем стебля прицела в вертикальной плоскости соответственно углу прицеливания α (на такую величину пришлось бы поднять стебель, если бы он не был наклонным по отношению к плоскости стрельбы).

Дугой *СЦ* показано выдвижение стебля, имеющего наклон к плоскости стрельбы, для построения того же угла прицеливания α.

Дугой *ВЦ* показано боковое перемещение панорамы соответственно наклону стебля при построении угла α. Так как длина дуги равна произведению радиуса на угол, то

$$\smile BC = OC \cdot \alpha \text{ и } \smile BЦ = OЦ \cdot \delta_z,$$

откуда

$$\frac{\smile BЦ}{\smile BC} = \frac{\delta_z}{\alpha}.$$

Будем считать, что отношение дуг *ВС* и *ВЦ* примерно равно отношению их хорд, т. е.

$$\frac{\smile BЦ}{\smile BC} = \frac{BЦ}{BC}.$$

Тогда из $\triangle CВЦ$ будем иметь

$$\operatorname{tg}\gamma = \frac{BЦ}{BC}$$

или

$$\operatorname{tg}\gamma = \frac{\delta_z}{\alpha}.$$

Пользуясь этим выражением, легко вычислить необходимый угол наклона γ. Для этого по таблицам стрельбы устанавливают примерное среднее значение отношения углов поправки на деривацию δ_z и прицеливания α в пределах прицельной дальности (дальности, для которой имеются шкалы на данном прицеле) или заданной дальности и затем определяют угол γ по его тангенсу:

$$\operatorname{tg}\gamma = \left(\frac{\delta_z}{\alpha}\right)_{\text{среднее}},$$

где

$$\left(\frac{\delta_z}{\alpha}\right)_{\text{среднее}} = \frac{1}{n}\sum_{1}^{n}\frac{\delta_z}{\alpha}.$$

Пример. Определим среднее значение $\frac{\delta_z}{\alpha}$ для осколочно-фугасной дальнобойной пушечной гранаты ОФ-540 при стрельбе из 152-*мм* гаубицы-пушки обр. 1937 г. полным зарядом на дальность до 12000 *м*.

Из таблиц стрельбы выписываем данные:

X *м*	2000	4000	5000	6000	7000	8000	9000	10000	11000	12000
α тыс.	25	55	74	96	120	147	179	217	258	301
δ_z тыс.	1	2	3	3	4	5	6	7	8	10

Вычисляем отношение $\frac{\delta_z}{\alpha}$ для указанных дальностей:

$\frac{\delta_z}{\alpha}$	$\frac{1}{25}$	$\frac{1}{28}$	$\frac{1}{25}$	$\frac{1}{32}$	$\frac{1}{30}$	$\frac{1}{29}$	$\frac{1}{30}$	$\frac{1}{31}$	$\frac{1}{32}$	$\frac{1}{30}$

Из полученного ряда значений $\frac{\delta_z}{\alpha}$ находим среднее значение:

$$\left(\frac{\delta_z}{\alpha}\right)_{\text{среднее}} = \frac{1}{n}\sum_{1}^{n}\frac{\delta_z}{\alpha} =$$

$$= \frac{\frac{1}{25}+\frac{1}{28}+\frac{1}{25}+\frac{1}{32}+\frac{1}{30}+\frac{1}{29}+\frac{1}{30}+\frac{1}{31}+\frac{1}{32}+\frac{1}{30}}{10},$$

где $n = 10$ — число отсчетов;

$$\left(\frac{\delta_z}{\alpha}\right)_{\text{среднее}} = 0{,}035 = \operatorname{tg}\gamma.$$

По $\operatorname{tg}\gamma$ находим угол γ.

В нашем примере $\gamma \approx 2°$.

Отказ от прицелов, автоматически учитывающих деривацию, вызван невозможностью автоматически учесть при помощи одного стебля прицела поправки для всех снарядов и зарядов, которыми стреляет данное орудие. Только в том случае, когда прицел предназначен для орудия, стреляющего почти одинаковыми снарядами и при одном постоянном заряде, автоматически учесть деривацию довольно просто.

Вместо наклонного стебля можно применять дуговой поперечный уровень, при помощи которого прицел можно отклонять на любой угол γ.

При стрельбе из пушек прямой наводкой на малые дальности (до 2000 *м*) поправка на деривацию так мала (около 1 деления угломера), что ею пренебрегают. Поэтому прицелы с автоматическим учетом деривации для противотанковой артиллерии не приняты.

§ 18. ШКАЛЫ ПРИЦЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

А. Система единиц измерения углов в артиллерии. Шкала угломера

В артиллерии Советской Армии принята своя система единиц измерения углов.

По этой системе окружность делится на 6000 равных делений. Каждая $\frac{1}{6000}$ окружности называется одним малым делением угломера и условно обозначается 0-01. Сто малых делений составляют одно большое деление (1-00).

Одно малое деление угломера равно 3,6′:

$$0\text{-}01 = \frac{360^\circ}{6000} = \frac{21600'}{6000} = 0{,}06^\circ = 3{,}6'.$$

Одно большое деление угломера равно 6°:

$$1\text{-}00 = \frac{100 \cdot 3{,}6'}{60} = 6^\circ.$$

В французской, американской и английской артиллерии окружность делят на 6400 малых делений (в немецкой артиллерии окружность также делили на 6400 делений).

Система измерения углов, принятая в нашей артиллерии, очень удобна для расчетов, связанных со стрельбой; при этой системе устанавливается очень простая зависимость между линейными и угловыми величинами.

С достаточной для практики точностью можно принять, что длина окружности в шесть раз больше длины радиуса. Тогда одно малое деление угломера, измеряемое одной шеститысячной частью длины окружности, будет равно $\frac{1}{1000}$ радиуса $\left(\frac{1}{1000} R\right)$. На основании этого одно деление угломера называют также тысячной.

Примечание. При более точном расчете $\frac{1}{6000}$ окружности =

$$= \frac{2\pi R}{6000} \approx \frac{1{,}047}{1000} R \approx \frac{1}{955} R.$$

Если принять расстояние до местного предмета (цели) за радиус, то между линейным размером местного предмета и

углом, под которым виден этот предмет, будет следующая простая зависимость:

$$\text{Угол в тысячных} = \frac{\text{Линейный размер предмета}}{0{,}001 \text{ расстояния до предмета}}.$$

На основании этого можно решить и обратную задачу, т. е. найти расстояние до местного предмета, если известны линейный размер предмета и угол в тысячных, под которым виден этот предмет:

$$\text{Расстояние до предмета} = 1000\,\frac{\text{Линейный размер предмета}}{\text{Угол в тысячных}}.$$

О шкалах угломера. Угломером называется часть прицела, в которой происходит построение прицельных углов горизонтальной наводки. Почти во всех современных прицелах угломер является частью панорамы, а в механических старых (рис. 172) и в минометных прицелах (рис. 194) — частью прицела. На всех угломерах шкалы нанесены в делениях угломера, при этом точность установок углов равна одному малому делению угломера (наименьшая установка по кольцу угломера 0-01).

Б. Деления на шкалах углов прицеливания

На шкалах углов прицеливания нанесенные деления могут быть выражены:

а) в дистанционных единицах (дистанционная шкала);

б) в тысячных.

Шкалы эти построены так, что каждому делению шкалы соответствует определенное приращение горизонтальной дальности полета снаряда (при полном совпадении условий стрельбы с нормальными условиями, для которых составлены таблицы стрельбы).

В нашей наземной артиллерии, как правило, одно любое деление дистанционной шкалы с дистанционными единицами соответствует 50 *м* горизонтальной дальности полета данного снаряда при данном заряде (это записано на самой шкале). Назначать установку угла прицеливания соответственно требуемой дальности по такой шкале не представляет затруднений: установка (число делений) равняется дальности в метрах, деленной на 50.

В старых прицелах русской артиллерии одно деление дистанционной шкалы прицела соответствовало 20 саженям (около 43 *м*).

В оптических прицелах нашей артиллерии одно деление дистанционной шкалы соответствует 100 *м*. Например, в поле

зрения прицела ПП1-2 числа на вертикальной линии «6», «10» и «15» соответствуют дальностям 600, 1000 и 1500 *м*.

У шкалы с дистанционными единицами промежутки между делениями неодинаковы: самые малые — в начале шкалы, затем они постепенно возрастают.

Неравномерность промежутков объясняется непропорциональностью дальности полета снаряда углу прицеливания: для увеличения дальности полета снаряда на одну и ту же величину при стрельбе на большие дальности требуется увеличивать угол прицеливания на бо́льшую величину, чем при стрельбе на малые дальности.

В иностранной артиллерии дистанционными единицами являются: во Франции — метры (сотни); в Англии и США — ярды (1 ярд = 0,914 *м*) или метры (сотни).

При использовании английских или американских оптических прицелов при стрельбе по танкам и вообще при прямой наводке можно считать в первом приближении, что ярды равны метрам.

На шкале с делениями в тысячных промежутки между делениями одинаковы, поэтому на различных участках шкалы изменению прицела на одно деление будет соответствовать изменение дальности не на одну и ту же величину: на такой шкале цена деления убывает с увеличением дальности.

Для пользования такой шкалой при установке угла прицеливания необходимо иметь таблицы стрельбы или знать на память значения углов для наиболее вероятных дальностей стрельбы (например, при стрельбе по танкам).

Основным преимуществом шкалы в тысячных является то, что ею можно пользоваться при стрельбе любыми снарядами и зарядами (при помощи соответствующих таблиц).

Кроме того, по шкале в тысячных представляется возможным производить установку угла возвышения со всеми внесенными поправками на отклонение условий стрельбы от нормальных.

Преимуществом шкал в дистанционных единицах, как мы видим, является простота вычисления необходимой установки для заданной дальности. Это чрезвычайно важно для артиллерии, ведущей огонь прямой наводкой, когда любой номер орудийного расчета должен быстро, без таблиц стрельбы, самостоятельно вычислить и установить требуемый прицел. Поэтому во всех оптических прицелах для стрельбы прямой наводкой применяются дистанционные шкалы.

Орудия, стреляющие разными снарядами и зарядами, должны иметь прицелы с несколькими дистанционными шкалами и, кроме того, шкалу тысячных (последняя при наличии таблиц стрельбы может использоваться для различных комбинаций снарядов, зарядов и взрывателей).

В связи с тем, что от любого орудия требуется готовность

к стрельбе прямой наводкой (борьба с танками и отражение нападения на огневую позицию), на каждом прицеле необходимо иметь одну-две дистанционные шкалы для стрельбы прямой наводкой на полном или первом заряде или кумулятивным снарядом.

Если на прицеле нет дистанционной шкалы, то на щитах следует надписывать белой краской установки по шкале тысячных на основные дальности для стрельбы основными снарядами и зарядами.

В. Шкала углов места цели

Шкала углов места цели необходима для прицелов, предназначенных для непрямой и полупрямой наводки, и совсем не нужна для прицелов, предназначенных для прямой наводки, так как в этом случае угол места цели автоматически строится в процессе визирования по цели.

Во всех современных прицелах деления на шкалах углов места цели наносятся в тысячных.

§ 19. О ТОЧНОСТИ ШКАЛ И ПРИЦЕЛОВ СО СТРЕЛКАМИ

Точность шкалы определяется ценой наименьшего деления данной шкалы. Поэтому точность шкалы можно увеличить путем увеличения ее длины.

Для увеличения длины прицельной шкалы применяют большие дистанционные барабаны, а также вводят зубчатую передачу, при которой угол поворота барабана в несколько раз больше прицельного угла (угла прицеливания или угла места цели). В этом случае длина прицельной шкалы может быть в несколько раз больше длины окружности барабана. На основе подобного принципа построены угломер и отражатель панорамы.

Точность установки прицела можно еще увеличить путем применения длинных прицельных стрелок (у прицелов с независимой и полунезависимой линией прицеливания). Прицельные стрелки своими концами описывают дуги больших радиусов; малейшее перемещение цапфы прицела сопровождается значительным перемещением конца стрелки. Кроме того, для увеличения точности прицела со стрелками применяют еще дополнительную рычажную передачу к одной из стрелок (например, у 76-*мм* пушки обр. 1936 г.).

Необходимо учитывать, что слишком большие прицельные стрелки не способны обеспечить большую точность наводки, так как они насаживаются с некоторыми мертвыми ходами и затрудняют работу у орудия; кроме того, большие стрелки в большей степени, чем малые, могут быть подвержены ударам и деформациям, особенно на походе.

Необходимо также учитывать, что в обычных прицелах со

стрелками получаются большие ошибки при незначительных неточностях в относительном положении стрелок. Например, при длине (l) стрелок в 250 *мм* и ошибке (Δl) в установке между указателями стрелок в 0,5 *мм* (по дуге) угловая ошибка угла возвышения будет

$$\Delta\varphi = \frac{\Delta l}{0{,}001 l} = \frac{0{,}5}{0{,}001 \cdot 250} = 2 \text{ малых деления угломера.}$$

Этот недостаток прицелов со стрелками больше всего сказывается при стрельбе на малые дальности, когда траектории резко меняются при изменении угла возвышения. Поэтому необходима особая тщательность наводки.

Практика показывает, что наружные шкалы могут изготовляться с точностью до одной тысячной без особых затруднений.

Точность шкал, наносимых на стеклах (линзах) оптических прицелов, практически не выше точности наружных шкал, так как в оптической системе неточность шкалы тем больше, чем большим увеличением обладает прибор.

Необходимо отличать точность шкал от точности установки прицела. Точность установки прицела определяется суммой возможных ошибок всех элементов, участвующих в построении данного угла. Например, если дистанционный барабан установлен на цапфе прицела неправильно, а в зубчатом зацеплении червяка с цапфой и между дистанционным барабаном и передаточным валиком имеются мертвые хода, а также если прицельная стрелка неправильно установлена относительно орудийной и у каждой стрелки есть свои мертвые хода, то ошибка установки прицела будет равна сумме ошибок всех названных элементов (рис. 202, 203 и 195). Знаки ошибок у отдельных элементов могут быть различными. Поэтому следует определять наибольшую возможную ошибку при условии, что все слагаемые ошибки имеют один знак.

Для уменьшения суммарной ошибки необходимо принимать меры к тому, чтобы величина слагаемых ошибок была возможно меньшей (требуется правильная сборка деталей и устранение мертвых ходов).

Для уменьшения же влияния ошибок на точность стрельбы необходимо при работе с механизмами обеспечивать постоянство знаков слагаемых ошибок (требуется однообразие приемов наводки и выбор мертвых ходов механизмов всегда в одну сторону).

§ 20. ПОНЯТИЕ О ПРИБОРАХ НОЧНОГО ВИДЕНИЯ

Известно, что инфракрасные лучи невидимы глазом, но они могут вызывать излучение электронов с поверхности фотоэлемента. С другой стороны, известно, что электроны, падая на поверхность люминесцирующего экрана электроннолучевой

трубки (например в телевизоре), вызывают свечение экрана. Следовательно, если в систему оптического прицела между объективом и окуляром поместить специальное устройство, имеющее два экрана: первый — фотокатод или источник электронов, вызываемых действиями инфракрасных лучей, а второй — люминесцирующий, то есть светящийся под действием электронов, то наводчик (или наблюдатель) сможет видеть местность, отражающую (или излучающую) инфракрасные лучи. Оба экрана помещают в одном стеклянном вакуумном баллоне. Для освещения местности применяют прожектор со светофильтром, пропускающим только инфракрасные лучи. Чтобы увеличить яркость свечения люминесцирующего экрана, создают сильное электрическое поле, ускоряющее электроны. Для этой цели экраны соединены с различными полюсами источника постоянного тока. Электроны отклоняются в магнитном поле (на этом принципе основано развертывающее действие электронного луча в телевизоре). Следовательно, с помощью магнитного поля можно заставить электроны сначала идти сходящимся конусом, а затем расходящимся. Это свойство используется в электронной оптике, например в электронном микроскопе. В прицелах, приспособленных для ночного видения, помещен электронно-оптический преобразователь, выполняющий две роли:

а) преобразует невидимое изображение в видимое;

б) оборачивает изображение, благодаря чему устраняется необходимость в оборачивающей системе из стеклянных линз.

Прицелы с электронно-оптическим преобразователем применялись во время второй мировой войны.

ГЛАВА III

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О НЕКОТОРЫХ ПРИЦЕЛАХ

§ 1. НОРМАЛИЗОВАННЫЙ ПРИЦЕЛ ОБР. 1930 г.

Нормализованный прицел обр. 1930 г. был введен во время модернизации советской артиллерии в 1930 г. Это весьма совершенный образец прицела полевой артиллерии. Название «нормализованный» говорит о пригодности данного типа прицелов к различным полевым орудиям. Нормализованные прицелы для различных орудий отличаются друг от друга прицельными дистанционными шкалами. Прицел является зависи-

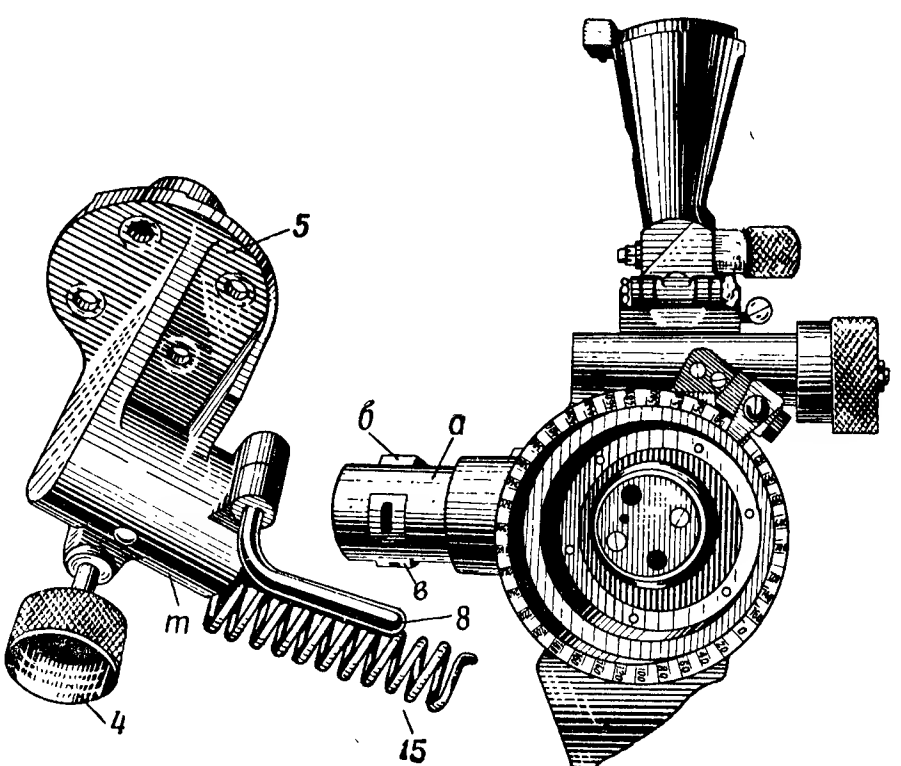


Рис. 209. Прицел обр. 1930 г. и его кронштейн:

а — цапфа коробки прицела; *б* — выступ цапфы коробки прицела; *4* — червяк механизма поперечного качания прицела; *5* — кронштейн прицела; *в* — зубцы на выступе для червяка *4*; *8* — зажимной винт кронштейна; *15* — пружина, выбирающая мертвый ход цапфы коробки прицела в подшипнике кронштейна прицела; *m* — подшипник кронштейна прицела

мым от орудия, он качающийся с зависимой линией прицеливания, дуговой, с панорамой, применяемой для всех орудий наземной артиллерии (см. рис. 191).

Общий вид нормализованного прицела с кронштейном показан на рис. 174. Кронштейн крепится болтами с гайками к левой цапфе люльки. Для удобства обслуживания прицел может быть прикреплен к верхнему станку; в этом случае он при помощи параллелограмма бывает связан с цапфой люльки.

Коробка прицела своей цапфой *а* (рис. 209) соединена с подшипником *т* кронштейна и может вращаться в подшипнике при помощи червяка *4*. Это необходимо для поперечного горизонтирования прицела.

Для устранения мертвого хода в механизме поперечного качания имеется заводная цилиндрическая пружина *15*.

Отгоризонтированный прицел фиксируется зажимным винтом *8*, стягивающим разрезной подшипник *т* кронштейна. На рис. 210 показана схема механизма углов прицеливания.

При вращении червяка *14* вращается червячное колесо *10* с закрепленным на нем дистанционным барабаном *2*. Колесо *10* при помощи болта *11* с зубчаткой заставляет перемещаться по дуговому пазу в коробке прицела стебель прицела *13*. На стебле прицела установлены боковой и поперечный уровни и корзинка для панорамы.

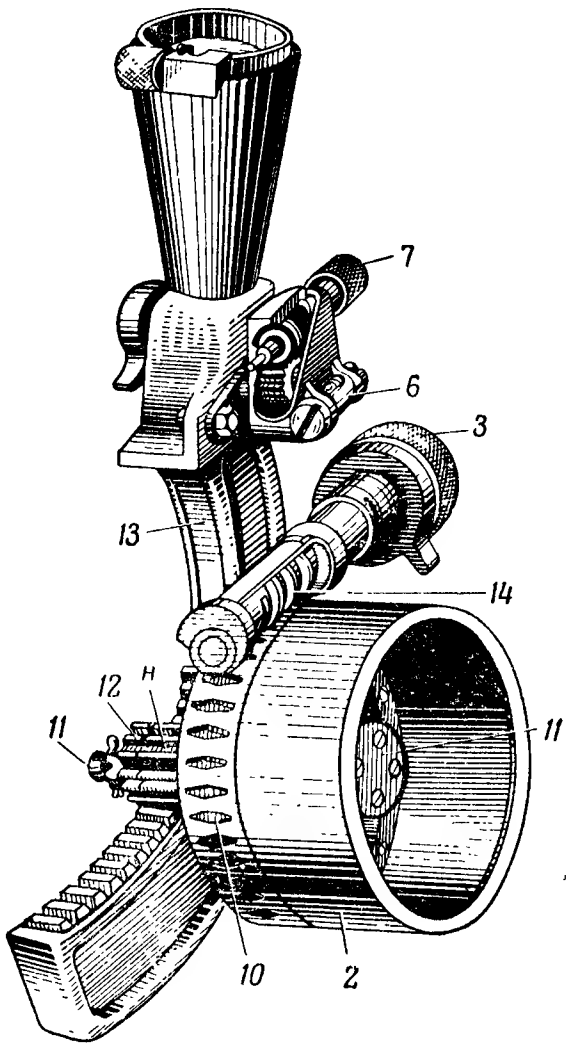


Рис. 210. Схема механизма углов прицеливания прицела обр. 1930 г.: *2* — дистанционный барабан; *3* — маховик червяка механизма углов прицеливания; *6* — боковой уровень; *7* — червяк бокового уровня; *10* — червячное колесо; *11* — болт червячного колеса *10*; *12* — зубчатка; *13* — стебель прицела; *14* — червяк механизма углов прицеливания; *Н* — зубчатка

На цилиндрической поверхности дистанционного барабана нанесено несколько дистанционных шкал для основных снарядов и зарядов, а на торцовой поверхности нанесена шкала тысячных.

Установка угла места цели производится при помощи ме-

ханизма бокового уровня, являющегося механизмом углов места цели. Боковой уровень установлен на стебле прицела и при установке углов прицеливания поворачивается на угол прицеливания. В наведенном орудии боковой уровень повернут относительно оси канала ствола на угол, равный углу возвышения (при непрямой наводке).

§ 2. ПРИЦЕЛ 76-*мм* ПУШКИ ОБР. 1942 г.

Этот прицел установлен на 76-*мм* пушке обр. 1942 г. (ЗИС-3) и на некоторых других системах. Прицел подобен нормализованному прицелу обр. 1930 г., но его конструкция проще (рис. 211). Схема построения прицельных углов показана на рис. 191.

При установке на станке прицел связывается с цапфой люльки при помощи шарнирно-параллелограммного привода.

Наводка орудия при помощи прицела обр. 1942 г. производится так же, как и при помощи нормализованного прицела обр. 1930 г.

§ 3. ТЕЛЕСКОПИЧЕСКИЙ ШАРНИРНЫЙ ПРИЦЕЛ ТИПА ТШ И ПРИЦЕЛЫ САМОХОДНОЙ АРТИЛЛЕРИИ

Рассматриваемый прицел (см. рис. 200 и 201) применяется в основном в танковых пушках. Он имеет то большое преимущество, что его окуляр во время качания ствола в вертикальной плоскости остается неподвижным. Поэтому наводчик может непрерывно следить за полем боя во время наводки, сохраняя положение, удобное для работы. Другое преимущество прицела ТШ заключается в том, что у него прицельные шкалы вынесены из участка поля зрения, через которое проходит линия визирования, что облегчает выполнение точной наводки.

В поле зрения прицела ТШ имеется подвижная сетка (рис. 212), которая состоит:

а) из вертикальных прицельных шкал с надписанными сокращенными названиями типа снаряда и номера заряда (например, шкала с надписью «Брог» предназначена для бронебойно-трассирующего снаряда и осколочной гранаты; шкала с надписью «ДТ» — для танкового пулемета Дегтярева);

б) из горизонтального ряда угловых марок с черточками между ними для отсчета боковых упреждений или отклонений (центральная марка по своим размерам крупнее других марок; угловое расстояние между марками 0-08; черточки делят расстояние между марками пополам);

в) из вертикальной черты, идущей от средней марки вниз (черта, общая для всех шкал дальностей).

Кроме того, в поле зрения прицела имеется горизонтальная нить, которая остается неподвижной при перемещении прицельной сетки.

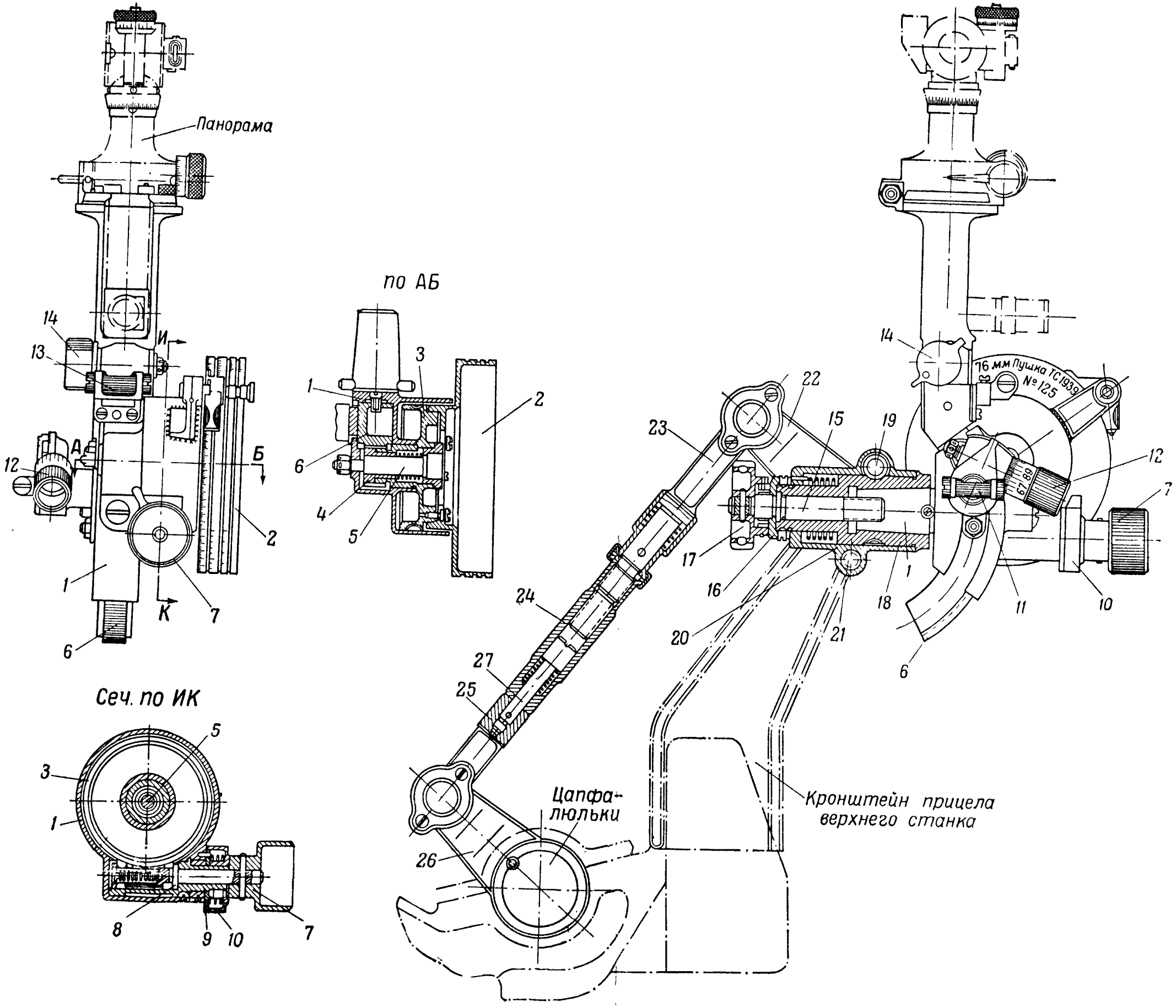


Рис. 211. Прицел 76-*мм* пушки обр. 1942 г.:

1 — корпус прицела; *2* — дистанционный барабан; *3* — червячное колесо с цилиндрической шестерней; *4* — цилиндрическая шестерня; *5* — ось шестерни *4*; *6* — стебель прицела; *7* — маховичок червяка механизма углов прицеливания; *8* — червяк механизма углов прицеливания; *9* — эксцентриковая втулка для выключения червяка *8*; *10* — выключатель (рукоятка) эксцентриковой втулки; *11* — боковой уровень; *12* — маховичок бокового уровня (механизма углов места цели); *13* — поперечный уровень; *14* — защелка панорамы; *15* — валик затяжной; *16* — гайка; *17* — маховичок к валику *15*; *18* — сектор с конусом; *19* — червяк механизма поперечного качания прицела; *20* — корпус с осью прицела; *21* — рукоятка к корпусу *20*; *22* — верхний рычаг параллелограмма; *23* — верхний шарнир тяги; *24* — муфта тяги; *25* — нижний шарнир тяги; *26* — нижний рычаг тяги; *27* — направляющий болт

Прицельная сетка может перемещаться только в вертикальном направлении при помощи механизма углов прицеливания, расположенного снизу под неподвижной частью прицела.

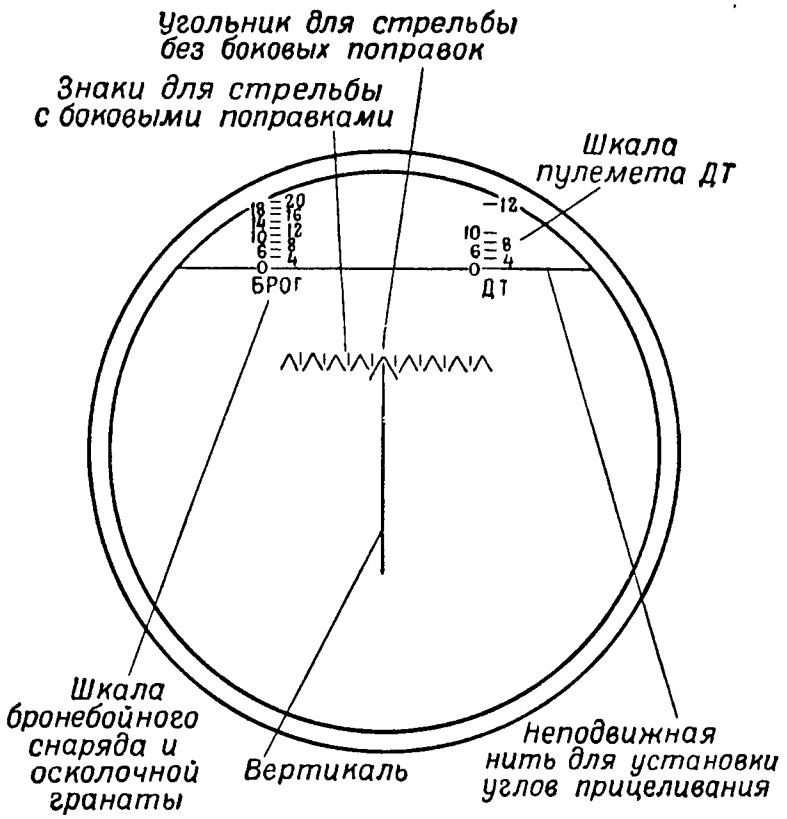


Рис. 212. Поле зрения прицела ТШ при нулевых установках

Рядом с горизонтальными линиями прицельных шкал стоят числа, указывающие дальность в сотнях метров.

Построение угла прицеливания производится путем перемещения прицельных шкал относительно неподвижной горизонтальной нити, а угла упреждения — путем выноса центральной марки вперед по направлению движения цели.

При пользовании сеткой прицела ТШ во время наводки линия визирования должна пересекаться с горизонтальной линией, проходящей по вершинам марок независимо от дальности до цели, снаряда и заряда.

Если стрельба ведется без боковых упреждений, то линия визирования на все дальности и для всех снарядов и зарядов проходит через вершину центральной марки.

Принципиальная схема построения прицельных углов показана на рис. 196 (точка *Д* соответствует вершине центральной марки).

Неподвижная окулярная часть прицела ТШ крепится к крыше танка (рис. 213) при помощи шарнирной подвески *5*.

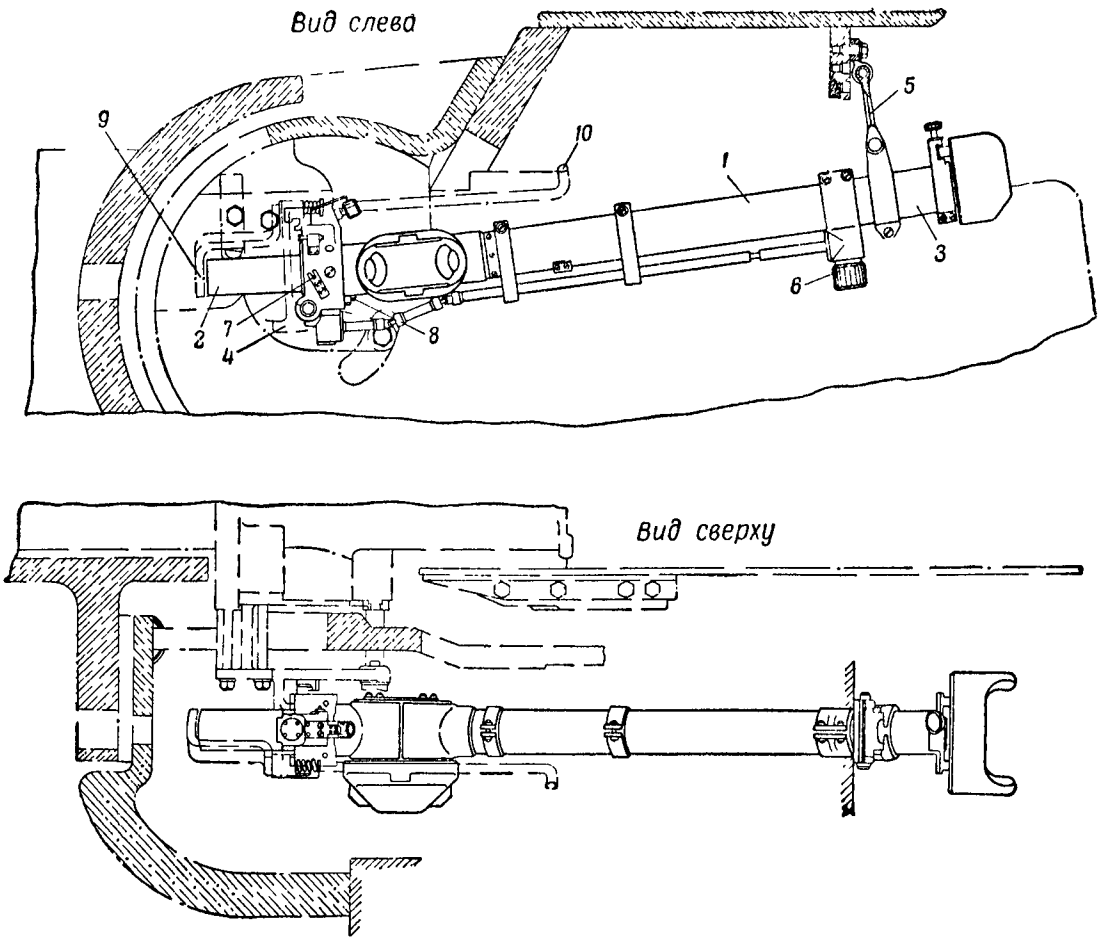


Рис. 213. Телескопический прицел ТШ, установленный на орудии в танке (самоходе):

1 — окулярная труба; *2* — головная часть прицела; *3* — окулярная часть прицела; *4* — кронштейн люльки; *5* — шарнирная подвеска; *6* — маховичок механизма углов прицеливания; *7* — выверочный винт (боковая выверка); *8* — эксцентрик (для выверки по высоте); *9* — броневая заслонка; *10* — рукоятка заслонки *9*

Подвижная объективная часть прицела крепится жестко к качающейся части орудия. Шарнирная подвеска позволяет устанавливать окуляр на различной высоте, чтобы наводчику было удобнее работать.

Для лучшей приспособленности прицелов ТШ для наводки на различные дальности в оптическую систему некоторых образцов вводится дополнение, позволяющее устанавливать одно из двух увеличений (меньшее — на малые дальности и большее — на большие дальности). Большое увеличение на малые дальности невыгодно, так как при этом поле зрения мало и затрудняется наблюдение.

Самоходные пушки имеют оптические прицелы типа танковых и, кроме того, панорамные прицелы типа прицелов наземной артиллерии.

Для обеспечения возможности наблюдения поверх крыши башни самоходной установки прицелам придается, если требуется, удлинитель корзинки панорамы.

Для непрямой вертикальной наводки танковых и самоходных орудий в Советской Армии во время Великой Отечественной войны был введен простейший прицел-уровень. Прицел-уровень представляет собой боковой уровень со шкалой в тысячных, который крепится к качающейся части орудия. Применяется прицел-уровень при стрельбе с места с закрытых позиций. В этом случае по шкале прицела-уровня устанавливается сразу угол возвышения (угол прицеливания берется в тысячных по таблицам стрельбы, а угол места вычисляется по карте или измеряется на местности). Боковая же наводка осуществляется при помощи панорамы или погона-угломера (см. ниже).

§ 4. ПОГОН-УГЛОМЕР

Для обеспечения возможности быстрого переноса огня с одной цели на другую при стрельбе с места (с постоянной огневой позиции) и для управления огнем некоторые орудия снабжены погонами-угломерами.

Погон-угломер представляет собой дугу со шкалой в тысячных. По этой дуге можно легко придать орудию требуемое направление в горизонтальной плоскости относительно заданного направления. Угол возвышения в этом случае придается при помощи бокового уровня.

Погон-угломер может быть применен в танковой артиллерии, в артиллерии бронепоездов, в капонирной, береговой, корабельной и зенитной артиллерии.

ГЛАВА IV

ПОНЯТИЕ О ПРИЦЕЛАХ ЗЕНИТНОЙ АРТИЛЛЕРИИ

§ 1. ПРИБОРЫ НАВЕДЕНИЯ ЗЕНИТНОГО ОРУДИЯ, СВЯЗАННЫЕ С ЦЕНТРАЛЬНЫМ ПРИБОРОМ УПРАВЛЕНИЯ ЗЕНИТНЫМ ОГНЕМ

Зенитные орудия, управляемые при помощи центрального прибора управления зенитным огнем (ПУАЗО), имеют три прибора, принимающих команды (рис. 214): установки ази-

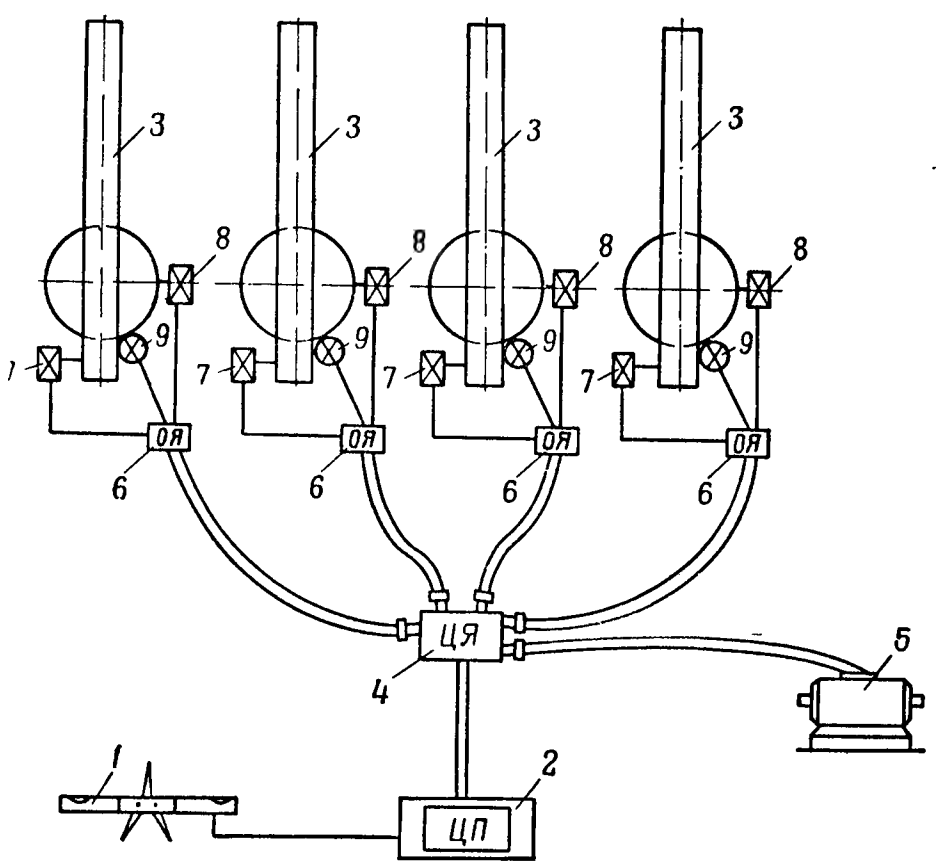


Рис. 214. Схема управления зенитным огнем:

1 — дальномер (высотомер); *2* — центральный прибор управления зенитным огнем (вырабатывает команды для орудий); *3* — орудия батареи; *4* — центральный ящик распределения синхронной передачи; *5* — агрегат питания синхронной передачи; *6* — орудийные ящики синхронной передачи; *7* — принимающие углы возвышения; *8* — принимающие азимуты; *9* — принимающие установки взрывателя

мута для наведения орудия в горизонтальной плоскости, установки угла возвышения для наведения орудия в вертикальной плоскости и установки взрывателя. Установки на эти приборы передаются при помощи электрической синхронной передачи. Приборы для наведения орудия однотипны. Шкалы на них нанесены в делениях угломера.

В каждом приборе имеются электрическая и механическая передачи с соответствующими указателями (стрелками, индексами).

Электрическая передача связана с ПУАЗО, а ее указатель на шкале показывает команду для наводки орудия.

Механическая передача приборов для наведения орудия связана с механизмами наводки (подъемным и поворотным), и ее указатели показывают фактические углы, приданные орудию. Наводка орудия соответствует командам, если механические и электрические указатели совпадают.

Работа наводчиков на орудии при наличии действующей синхронной передачи с ПУАЗО чрезвычайно проста: необходимо только совмещать механические указатели с электрическими. Работа эта совершенно не зависит от времени года, суток, погоды и прочих условий (указатели покрываются светящейся краской, кроме того, освещаются электролампочками) [1].

§ 2. АВТОМАТИЧЕСКИЕ ПРИЦЕЛЫ ЗЕНИТНОЙ АРТИЛЛЕРИИ

В настоящее время автоматические прицелы устанавливаются на зенитных пушках малого калибра, предназначенных для стрельбы прямой наводкой.

Автоматическая работа прицела заключается в определении положения самолета в пространстве в момент встречи его со снарядом (к нахождению так называемой точки встречи) и в выработке основных прицельных углов.

Трудность решения указанной задачи состоит в том, что истинное движение самолета за упредительное время t_y неизвестно. Для автоматических прицелов упредительное время равно промежутку времени от момента выстрела до момента встречи снаряда с самолетом.

Делают предположение, что за время движения снаряда самолет будет лететь с постоянной скоростью и по одному и тому же направлению. В устаревших прицелах принимали, что за упредительное время высота полета также не изменяется.

---

[1] В современной зенитной артиллерии наводка орудия производится автоматически электромоторами, управляемыми с помощью синхронной передачи.

Принципиальная схема простейших автоматических зенитных прицелов

При помощи автоматических прицелов решают задачу наводки, как правило, не производя предварительных вычислений. При стрельбе с автоматическими прицелами требуется знать только численные значения тех параметров, которыми определяются движение цели и ее положение в пространстве. К этим параметрам относятся скорость и курс цели, угол пикирования или кабрирования, наклонная дальность или высота полета самолета (H). Указанные величины устанавливают по шкалам прицела; значения их предварительно определяют или на глаз или при помощи курсомера, скоромера и дальномера.

Рассмотрим случай горизонтального полета цели.

Пусть точка O (рис. 215) соответствует положению орудия, а точка A — положению цели в момент выстрела; цель перемещается в направлении $AA_у$ со скоростью $V_ц$. Положение цели в момент выстрела определяется величинами наклонной дальности $Д$ и угла места цели ε. Для поражения цели следует направить снаряд в упрежденную точку $A_у$, в которой он должен встретиться с целью. Поэтому необходимо придать оси канала ствола такое положение (OC), которое по отношению к линии цели OA будет определяться величинами угла

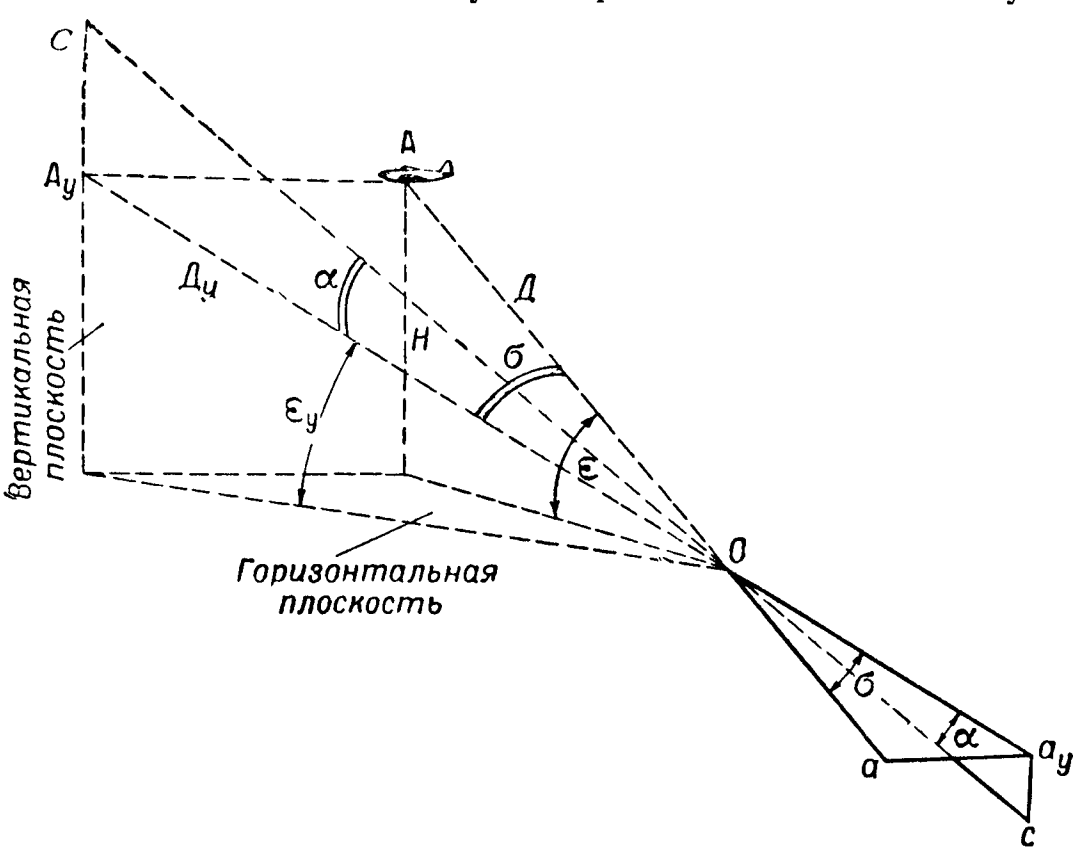


Рис. 215. Схема построения основных прицельных углов при наводке орудия по воздушным целям ($AA_у = V_ц \cdot t_у$)

упреждения σ и угла прицеливания α. Угол прицеливания должен соответствовать упрежденным значениям дальности $Д_у$ и угла места цели $\varepsilon_у$. Для придания орудию указанного положения следует устанавливать линию прицеливания так, чтобы она в любой момент наводки образовала с осью канала ствола углы σ и α. Эта задача в автоматических прицелах решается путем построения двух прицельных треугольников $Oaa_у$ и $Oa_уc$, подобных пространственным треугольникам $OAA_у$ и $OA_уC$.

Эти треугольники называются:

$OAA_у$ — пространственный упредительный треугольник;

$OA_уC$ — пространственный баллистический треугольник;

$Oaa_у$ — прицельный упредительный треугольник;

$Oa_уc$ — прицельный баллистический треугольник.

Связь между сторонами этих треугольников следующая:

$$\frac{AA_у}{aa_у} = \frac{AO}{aO} = \frac{A_уO}{a_уO} = \frac{CA_у}{ca_у} = \frac{CO}{cO}.$$

Прицельная схема автоматического прицела показана на рис. 216. В прицеле имеются три линейки, которые могут занимать различные положения одна относительно другой. Принято называть линейку *1*, параллельную оси ствола, о р у д и й н о й л и н е й к о й, линейку *2*, устанавливаемую параллельно курсу цели, к у р с о в о й л и н е й к о й, а линейку *3*, параллельную прицельной линии, п р и ц е л ь н о й л и н е й к о й.

При перемещении ползуна *5* с шарниром *O* и каретки *6* с шарниром *a* изменяются величины сторон упредительного треугольника $Oaa_у$; одновременно изменяется и величина стороны *Oc* баллистического треугольника. При перемещении линейки *2* в вертикальных направляющих *7* изменяется вторая сторона $a_уc$ баллистического треугольника. Указанные перемещения производят путем введения установок по соответствующим шкалам прицела. После этого, действуя подъемным и поворотным механизмами наводки (визируя по цели), добиваются совмещения прицельной линейки *3* с линией цели *OA*. По окончании наводки линия $Oa_у$ совместится с упрежденной линией цели $OA_у$, а линейка *1* (параллельная линии *Oc*) установится по отношению к этой линии под углом, равным углу прицеливания (α). Так как ось ствола параллельна орудийной линейке, то в конце наводки стволу будут приданы необходимый угол прицеливания и угол бокового упреждения.

На рис. 184 показана схема коллиматорного зенитного визира, применяемого в автоматических прицелах зенитных орудий малого калибра.

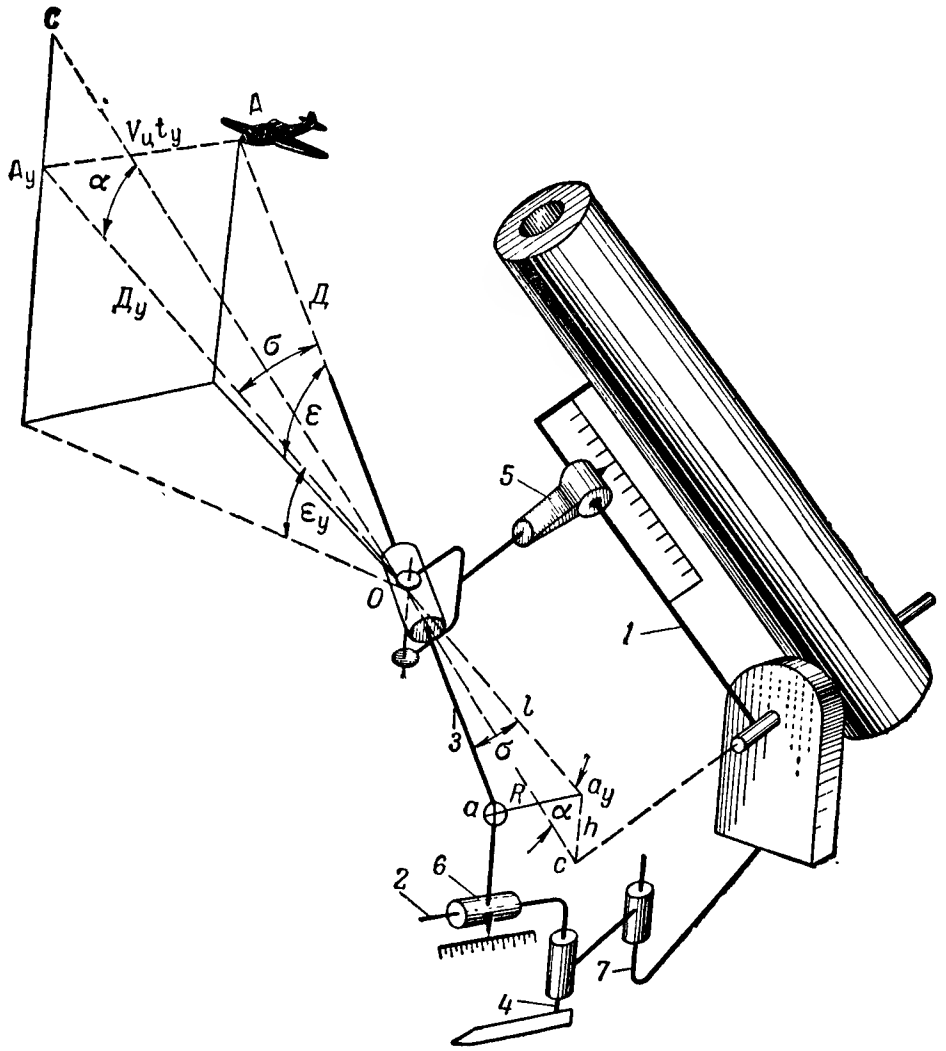


Рис. 216. Схема автоматического зенитного прицела

О кольцевых прицелах

Простейшим типом механического прицела для зенитной стрельбы является кольцевой прицел, широко применявшийся для зенитных пулеметов. Кольцевой прицел состоит из целика (диоптра) и стойки с концентрическими кольцами (вместо мушки). Визирование по цели (голове самолета) ведется через диоптр и точку кольца, соответствующего данной скорости самолета. Кольцо должно подводиться к голове самолета так, чтобы самолет всегда шел к центру кольца. С помощью колец строят упреждения на движение цели с характерными скоростями. Визирование по цели через центр кольца соответствует случаю стрельбы по неподвижной цели. Для изменения угла прицеливания в соответствии с изменением дальности до цели и угла места цели стойку с кольцами перемещают по специальной дистанционной линейке и меняют положение колец в стойке.

ГЛАВА V

ПРОВЕРКА ПРИЦЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

§ 1. ВИДЫ ПРОВЕРОК ПРИЦЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

Орудие испытывает большие динамические нагрузки при перевозке и особенно при стрельбе. Эти многократно повторяемые нагрузки могут вызвать расстройства механизмов прицела, а в отдельных случаях остаточные деформации и износ деталей в местах соединения. Вследствие этого требуется систематическая тщательная проверка и регулировка прицельных устройств. В результате проверки может потребоваться заменить отдельные части прицела, а иногда и весь прицел.

За состояние материальной части отвечают все обслуживающие эту материальную часть командиры и рядовые. Все они должны понимать значение отладки прицела и уметь своими руками производить проверку прицелов согласно указаниям руководств службы.

Перед боем и после боя прицелы должны быть проверены и приведены в исправное состояние.

Орудия, находящиеся на хранении, в парке или в пути, также должны иметь исправные прицелы.

Исправные прицельные устройства обеспечивают равенство установленных прицельных углов и соответствующих им углов наводки орудия (при выполненной наводке).

У исправных прицельных устройств при нулевых установках и средних положениях пузырьков бокового и поперечного уровней плоскость построения углов прицеливания и места цели должна быть вертикальной, а плоскость угломера должна быть горизонтальной, так как первая плоскость должна быть параллельна плоскости стрельбы, а вторая — горизонту орудия.

У исправных прицельных устройств должно быть полное соответствие между установками углов и фактическими прицельными углами. Установки не должны нарушаться при наводке и стрельбе.

Соответствие углов должно быть при всех их значениях.

Чтобы было обеспечено выполнение перечисленных требований, должны быть произведены следующие проверки:

а) Проверка параллельности оси канала ствола и нулевой линии прицеливания, от которой отсчитываются углы в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Эта проверка сокращенно называется проверкой нулевой линии прицеливания. Так как нулевая линия прицеливания соответствует нулевым установкам прицела, то проверка эта иначе называется проверкой нулевых установок прицела.

Эта проверка минимально необходимая перед каждой стрельбой, поэтому ее называют еще **частичной проверкой** прицельных устройств.

б) Проверка параллельности контрольной площадки на стволе и оси канала ствола. Эта проверка производится на заводе. При всех следующих проверках считается, что контрольная площадка параллельна оси канала ствола.

Площадку следует особо оберегать от повреждений.

в) Проверка горизонтальности продольных осей бокового и поперечного уровней при нулевых установках прицела и при горизонтальном положении плоскости угломера панорамы. При горизонтальном положении продольной оси уровня пузырек его занимает среднее положение.

г) Проверка перпендикулярности оси цапф люльки к оси канала ствола. Эта проверка делается на заводе при сборке орудия. Она также должна производиться после падения орудия или после попадания в орудие осколков снаряда.

д) Проверка параллельности противоположных сторон параллелограмма, связывающего коробку или указатель прицела с качающейся частью орудия. Эта проверка производится для обеспечения постоянного равенства углов поворота ствола и им соответствующих углов поворота коробки прицела или указателя (орудийной стрелки).

е) Проверка перпендикулярности оси коробки прицела к оси канала ствола (производится при горизонтальном положении оси цапф люльки и после вышеуказанных проверок и исправлений). Если ось коробки прицела перпендикулярна к оси канала ствола, то пузырек поперечного уровня не будет отклоняться от среднего положения с изменением угла возвышения и не будет получаться бокового отклонения линии визирования. Допустимые отклонения пузырька уровня и угломера не должны превосходить двух малых делений угломера.

ж) Проверка параллельности оси поперечного качания качающегося прицела и оси канала ствола.

з) Проверка соответствия делений на шкалах прицельным углам, получающимся при построении. Эта проверка делается для ряда значений углов. Углы возвышения проверяют квадрантом, установленным на площадке ствола.

и) Проверка величины качки ствола в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Этой проверкой устанавливают величину возможных угловых отклонений оси канала ствола благодаря наличию зазоров между стволом и люлькой, а также между цапфами и цапфенными опорами и благодаря мертвым ходам в механизмах наведения орудия.

к) Проверка параллельности контрольной площадки ствола и оси цапф люльки. При отсутствии этой параллельности получится наклон оси цапф люльки при горизонтальном положении контрольной площадки и могут остаться незамеченными грубые ошибки в вертикальной и горизонтальной наводке (см. § 14 гл. II настоящего раздела).

Перед проверкой прицелов необходимо:

а) установить орудие на горизонтальной площадке, с которой можно вести визирование по удаленной точке наводки или по специальному щиту;

б) осмотреть все механизмы прицела и наведения, очистить их от пыли и лишней смазки и устранить неисправности;

в) определить величины мертвых ходов в механизмах прицела и наведения орудия и устранить мертвые хода, если они больше допустимых;

г) проверить контрольный уровень.

§ 2. СУЩНОСТЬ И МЕТОДЫ ОСНОВНЫХ ПРОВЕРОК ПРИЦЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

1. Проверка контрольного уровня или квадранта

Так как при помощи контрольного уровня проверяют все механизмы прицела и установку прицела на орудии, то сам контрольный уровень должен быть тщательно проверен.

Для этого контрольный уровень устанавливается на специальную контрольную площадку на стволе орудия.

Перед проверкой контрольного уровня следует особо тщательно вытереть контрольную площадку на орудии и опорные поверхности коробки уровня (квадранта).

Цель проверки — обеспечить среднее положение пузырька при горизонтальном положении опорной поверхности коробки уровня (и при нулевой установке, если проверяется квадрант).

Порядок проверки следующий. Установить уровень на контрольную площадку и вывести его пузырек на середину путем качания ствола подъемным механизмом орудия. Повернуть уровень на 180° вокруг вертикальной оси; если пузырек останется при этом на месте, то уровень верен. В противном случае выбрать одну половину отклонения пузырька при помощи подъемного механизма орудия, а другую половину отклонения устранить при помощи регулировочного винта уровня. Проверить еще раз, снова поставив уровень в исходное положение.

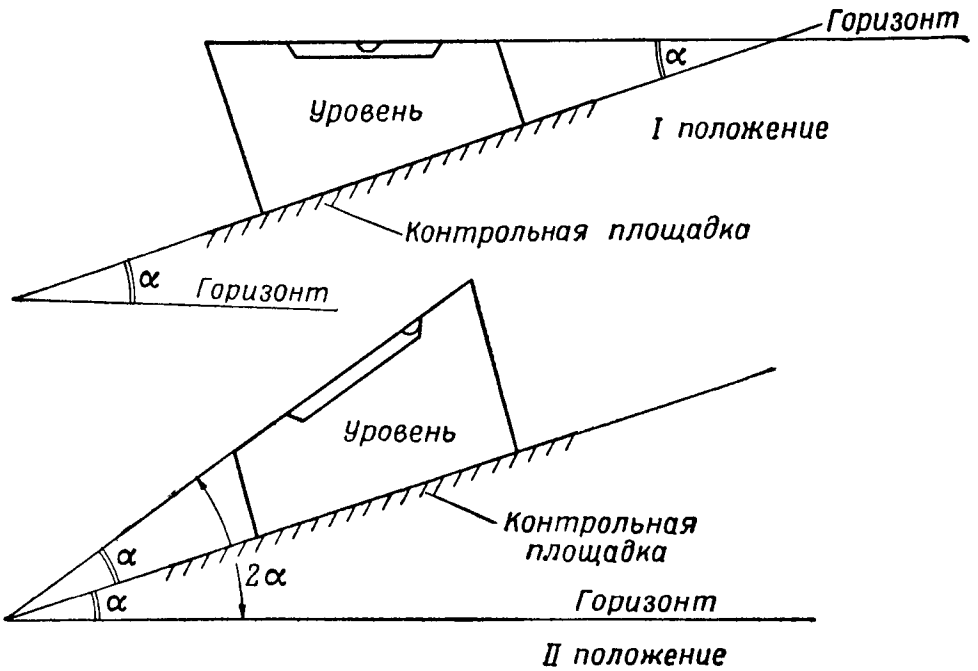


Рис. 217. Схема двух положений контрольного уровня на стволе, когда контрольная площадка наклонена к горизонту под углом α (геометрическая сущность)

Если пузырек при этом отклонится от середины, то опять одну половину отклонения выбрать подъемным механизмом орудия, а другую половину — регулировочным механизмом прицела. Эту работу продолжать до тех пор, пока пузырек уровня не перестанет отклоняться при повороте уровня на 180°.

Рассмотрим, в чем заключается геометрическая сущность проверки контрольного уровня (рис. 217).

У исправного контрольного уровня ось ампулы параллельна плоскости основания уровня, а у неисправного уровня ось ампулы наклонена к плоскости основания под некоторым углом α. Поэтому при пользовании неисправным уровнем контрольная площадка будет наклонена к горизонту под углом α. Направление наклона контрольной площадки (возвышение или склонение) будет зависеть от положения уровня на площадке (см. I положение на рис. 217).

Если повернуть контрольный уровен на 180° вокруг оси, перпендикулярной к контрольной площадке ствола, то верхняя

плоскость уровня отклонится от горизонтального положения на угол, равный 2α. Поэтому, сдвигая при помощи подъемного механизма пузырек уровня к среднему его положению на половину отклонения, поворачивают ствол на угол α и таким образом устанавливают контрольную площадку ствола горизонтально. После этого при помощи регулировочного винта ставят уровень горизонтально, для чего поворачивают оправу уровня относительно коробки на угол α.

2. Проверка мертвых ходов механизмов прицела

Мертвым ходом называется наличие свободного вращения или перемещения одного элемента винтовой, зубчатой или шарнирной пары связи относительно другого элемента связи. Величина мертвого хода измеряется в угловых величинах по шкалам того механизма, в котором мертвые хода проверяются.

Причина мертвых ходов — наличие зазоров вследствие производственных допусков или износа деталей. Наибольшее допустимое значение мертвого хода целого механизма — два деления угломера.

Необходимо проверять наличие и величину мертвых ходов угломера, отражателя, бокового уровня (когда он связан с механизмом углов места цели), механизмов углов прицеливания, углов места цели, подъемного механизма (у прицелов с зависимой линией прицеливания подъемный механизм прицела и механизм углов прицеливания представляют собой один механизм) и механизма поперечного качания прицела.

Проверка мертвого хода каждого механизма производится отдельно. Для выявления мертвого хода механизма (уровня, прицельной стрелки, угломера панорамы, прицела) следует придать проверяемому механизму какую-либо установку, вращая маховик этого механизма в одну сторону. Затем, наблюдая внимательно за положением пузырька уровня (прицельной стрелки, перекрестия панорамы), плавно вращать маховик механизма в обратную сторону до тех пор, пока не будет заметен сдвиг пузырька уровня (стрелки или перекрестия).

Угол поворота маховика, соответствующий нейтральному положению пузырька уровня (стрелки или перекрестия), и является величиной мертвого хода данного механизма.

Мертвый ход нужно проверять, взяв несколько наиболее типичных для данного орудия установок прицела.

Чтобы избежать ошибок в наводке при помощи прицела, имеющего механизмы с мертвыми ходами, следует окончательную установку этих механизмов всегда производить в одном и том же направлении, например, заканчивать подводку делений к указателям вращением маховиков по ходу часовой стрелки.

3. Проверка поперечного и бокового уровней

При помощи поперечного и бокового уровней производится установка плоскостей (вертикальной и горизонтальной) для построения прицельных углов вертикальной и горизонтальной наводки.

Вертикальную плоскость, параллельную оси коробки прицела, можно определить при помощи одного бокового уровня, а горизонтальную плоскость — при помощи двух уровней, т. е. бокового и поперечного. Поэтому весьма важно обеспечить правильное положение обоих уровней [1].

При нулевых установках и среднем положении пузырьков обоих уровней плоскость угломера должна занимать горизонтальное положение.

Во всех исправных панорамах опорная поверхность корпуса панорамы (она соприкасается с верхним срезом корзинки панорамы) должна быть строго параллельной плоскости угломера. Поэтому для обеспечения горизонтального положения угломера достаточно установить горизонтально плоскость верхнего среза корзинки панорамы. Эта установка корзинки панорамы производится при помощи проверенного контрольного уровня.

Положение плоскости в пространстве определяется двумя линиями, лежащими в этой плоскости. Поэтому для установки плоскости верхнего среза корзинки панорамы в горизонтальное положение нужно сначала поставить проверенный контрольный уровень на верхний срез корзинки параллельно оси ствола, а затем перпендикулярно оси ствола.

В обоих случаях пузырек уровня выводится на середину. При этом при первой установке уровня пузырек его выводится на середину подъемным механизмом прицела, а при второй установке — механизмом поперечного качания прицела. При горизонтальном положении плоскости угломера (или параллельной ей плоскости верхнего среза корзинки панорамы) пузырьки уровней прицела (бокового и поперечного) должны занимать среднее положение.

У некачающихся прицелов плоскость угломера при нулевых установках прицела должна быть параллельна контрольной площадке ствола. Поперечное горизонтирование некачающегося прицела производится путем качания всего орудия (например, 57-*мм* противотанковой пушки). Контрольный уровень при этом устанавливается на контрольную площадку ствола перпендикулярно к оси канала ствола.

При проверке уровней орудия, установленных на лафете (например, 37-*мм* и 85-*мм* зенитных пушек), контрольный уровень ставится на контрольную площадку ствола и горизонти-

[1] Боковой уровень должен быть параллельным оси канала ствола, а поперечный уровень должен быть перпендикулярным к оси канала ствола.

рование плоскости угломера производится при помощи домкратов станин лафета. При строго горизонтальном положении ствола пузырек контрольного уровня остается посредине при любом направлении ствола в горизонтальной плоскости. Когда это положение будет достигнуто, все уровни на станинах ставятся в среднее положение.

4. Проверка нулевой линии прицеливания

Нулевая линия прицеливания должна быть параллельна оси канала ствола.

Практически считается, что нулевая линия прицеливания параллельна оси канала ствола, если угол между ними не более половины малого деления угломера, т. е. величины, характеризующей точность панорамы.

Метод проверки нулевой линии прицеливания основан на допущении, что при больших расстояниях до точки наводки угол между осью канала ствола и нулевой линией прицеливания, наведенными в эту точку, равен нулю. Очевидно, чем больше расстояние до точки наводки ($D_н$), тем меньше погрешность данного допущения. Проверку необходимо вести при строго горизонтальном положении поперечного уровня.

Визирование вдоль оси канала ствола более точно выполняется при помощи специальных оптических визиров, устанавливаемых своим основанием в канале ствола орудия.

Наименьшее допустимое удаление ($D_н$) точки наводки зависит от расстояний между нулевой линией прицеливания и осью канала ствола в плоскости, перпендикулярной к плоскости стрельбы и проходящей через переднюю плоскость визира.

Обозначим расстояния между осью канала ствола и нулевой линией прицеливания: по горизонтали через $X_{виз}$ и по вертикали через $Y_{виз}$.

Величины $X_{виз}$ и $Y_{виз}$ указываются в руководствах службы и могут быть измерены. Углы, под которыми будут видны $X_{виз}$ и $Y_{виз}$ с точки наводки (при расстоянии $D_н$), будут

$$\alpha_{гор} = \alpha_x = \frac{1000 X_{виз}}{D_н};$$

$$\alpha_{верт} = \alpha_y = \frac{1000 Y_{виз}}{D_н}.$$

Углы $\alpha_{гор}$ и $\alpha_{верт}$ будут меньше половины тысячной, если

$$\frac{1000 X_{виз}}{D_н} < 0{,}5$$

и

$$\frac{1000 Y_{виз}}{D_н} < 0{,}5$$

или

$$D_н > 2000 X_{виз}$$

и

$$D_н > 2000 Y_{виз}.$$

Общий вывод. Удаление до точки наводки ($D_н$) должно быть в 2000 раз больше расстояния между нулевой линией визирования и осью канала ствола. Так как для каждого образца орудия величины $X_{виз}$ и $Y_{виз}$ различны, то и наименьшее значение $D_н$ должно быть различно. На практике величины $X_{виз}$ и $Y_{виз}$ колеблются в пределах 200—500 *мм*, а в отдельных случаях и больше. Поэтому для проверки нулевой линии прицеливания величина $D_н$ должна быть не менее 400—1000 *м*.

Если нельзя проверить нулевую линию прицеливания путем визирования по удаленной точке наводки, то проверка производится при помощи щита с координатами.

Расстояния между перекрестиями на щите соответствуют расстояниям (по вертикали и горизонтали) между осью канала ствола и нулевой линией визирования ($Y_{виз}$ и $X_{виз}$). Если у прицела имеются два визирных устройства или имеется два прицела, то на щите должно быть три перекрестия — для двух визиров и для ствола.

При проверке нулевой линии прицеливания щит должен находиться впереди орудия не ближе чем в 20 *м* (желательно в 25—50 *м*).

Для проверки нулевой линии прицеливания ночью применяют щиты с прорезями (в местах перекрестий), освещаемыми лампой, находящейся за щитом.

При проверке нулевой линии прицеливания при помощи щита исключительно важно обеспечить правильное расположение орудия, прицела и щита, для чего необходимо:

1. Установить орудие на горизонтальной площадке так, чтобы контрольная площадка ствола была горизонтальна. Верхний срез корзинки панорамы должен быть в горизонтальном положении при нулевых установках прицела.

2. Установить щит с координатами строго вертикально (при помощи отвеса) и строго перпендикулярно к оси канала ствола. Последнее требование трудно выполнить при очень большом удалении щита. Для правильной установки щита с координатами можно воспользоваться буссолью с оптическим визиром. При помощи буссоли определяется точка, лежащая на оси канала ствола, с которой должно совпасть перекрестие на щите, и провешивается направление, перпендикулярное к оси канала ствола. Для этого буссоль устанавливают на месте установки щита и в окуляр буссоли наводят ось канала ствола, которая все время должна оставаться горизонтальной [1]. Затем визир буссоли направляют в перекрестие на дульном срезе ствола. Отсчет на угломерном круге изменяют на 15-00. Направление оптического визира, полученное при

[1] Положение визира буссоли по высоте регулируется путем изменения положения ног треноги.

новой установке угломера, провешивают. Это направление будет перпендикулярно к оси канала ствола. Под центром буссоли ставят кол, а на направлении визирования устанавливают веху. Щит устанавливают в створе кола и вехи так, чтобы перекрестие точно совпадало с продолжением оси канала ствола. Тщательность установки орудия и щита необходима для обеспечения точной установки прицела. Достаточно указать, что при расстоянии до щита $D_{щ} = 20$ *м* при искажении величины $X_{виз}$ или $Y_{виз}$ всего на 10 *мм* ($\Delta X_{виз} = 0{,}01$ *м*) получается угловая ошибка

$$\beta = \frac{\Delta X_{виз}}{0{,}001 D_{щ}} = \frac{0{,}010}{0{,}001 \cdot 20} = 0{,}5 \text{ деления угломера.}$$

5. Проверка перпендикулярности оси цапф люльки орудия по отношению к оси канала ствола

Эта проверка делается после проверки нулевой линии прицеливания и установления ее параллельно оси канала ствола.

Если ось цапф горизонтальна и ось коробки прицела параллельна оси цапф, то при угломере 30-00 (или 0-00) линия прицеливания должна оставаться в одной и той же вертикальной плоскости при всех углах возвышения (признак перпендикулярности оси цапф к оси канала ствола).

Метод проверки. Установить орудие на горизонтальной площадке так, чтобы контрольная площадка ствола была горизонтальна. Поставить на всех шкалах прицела нулевые установки. Установить панораму вертикально при помощи бокового и поперечного уровней. Перед орудием (в 3—5 *м* от него) повесить вертикально тонкий шнур с отвесом и навести в него панораму (поворотным механизмом орудия) так, чтобы вертикальная риска панорамы совпала с правой границей шнура. Затем, работая подъемным механизмом прицела, изменять положение панорамы. Вертикальная риска панорамы при этом не должна отклоняться от шнура более чем на 0-02. Если отклонение будет больше 0-02, составить таблицу боковых отклонений линии прицеливания для углов возвышения через 0-50 (3°).

В прицелах с независимой линией прицеливания точную установку углов возвышения делать при помощи квадранта, устанавливаемого на контрольную площадку коробки прицела.

В прицелах, зависимых от орудия, изменение положения корпуса прицела (и панорамы) делается подъемным механизмом орудия.

Величины боковых отклонений прицельной линии для различных углов возвышения измеряются при помощи угломера панорамы; эти отклонения должны учитываться при наводке орудия.

Проверка параллельности оси поперечного качания качающегося прицела и оси канала ствола. Эта проверка делается после проверки перпендикулярности оси цапф люльки к оси канала ствола. Проверка проводится на орудии, установленном на горизонтальной площадке при горизонтальном положении ствола, при нулевых установках прицела и панорамы и при среднем положении пузырьков обоих уровней. Проверка производится с помощью качания прицела. Признаком параллельности названных осей должно быть:

1) несбиваемость бокового уровня прицела и

2) несбиваемость линии визирования по удаленной точке наводки (допустимое отклонение боковое не более 0-02).

В случае невозможности исправления крепления прицела следует определить величину боковых отклонений линии визирования для нескольких углов качания прицела (2°, 4°, 6° и т. д. через 2°) и сделать таблицу поправок на непараллельность осей качания прицела и канала ствола. Угол качания прицела измерять квадрантом, устанавливаемым на верхний срез корзинки панорамы в направлении, параллельном оси цапф люльки.

6. Понятие об уводе линии прицеливания

При наличии различного рода неисправностей в механизмах прицела и механизмах крепления прицела получается отклонение (увод) линии прицеливания от плоскости стрельбы при угломере 30-00 и при срединном положении поперечного уровня прицела. Большие ошибки дает непараллельность оси поперечного качания прицела с осью канала ствола. Величина увода меняется с изменением угла возвышения и с изменением наклона оси цапф люльки к горизонту. Ввиду большой сложности вычислений поправок на увод линии прицеливания следует всегда стремиться устанавливать орудие без наклона оси цапф люльки и заранее приготовить таблицу поправок на увод линии прицеливания для различных углов возвышения при горизонтальном положении оси цапф люльки. Определение величины боковых отклонений линии прицеливания производить при разных положениях панорамы (за счет работы механизма углов прицеливания в прицелах с зависимой линией прицеливания или за счет подъемного механизма прицела в прицелах со стрелками). Визирование вести по вертикальному шнуру, подвешенному впереди орудия в створе килевой линии прицеливания.

РАЗДЕЛ ПЯТЫЙ
МИНОМЕТНОЕ И РЕАКТИВНОЕ ВООРУЖЕНИЕ

ГЛАВА I
МИНОМЕТНОЕ ВООРУЖЕНИЕ

§ 1. ТАКТИКО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МИНОМЕТОВ

Миномет — гладкоствольное орудие для стрельбы минами, т. е. оперенными снарядами.

Минометы, как правило, предназначены для навесной стрельбы при углах возвышения от 45° и более (до 85°). Навесная стрельба ведется для поражения живой силы противника, находящейся в окопах, на обратных скатах и за различными укрытиями, а также для разрушения горизонтальных целей.

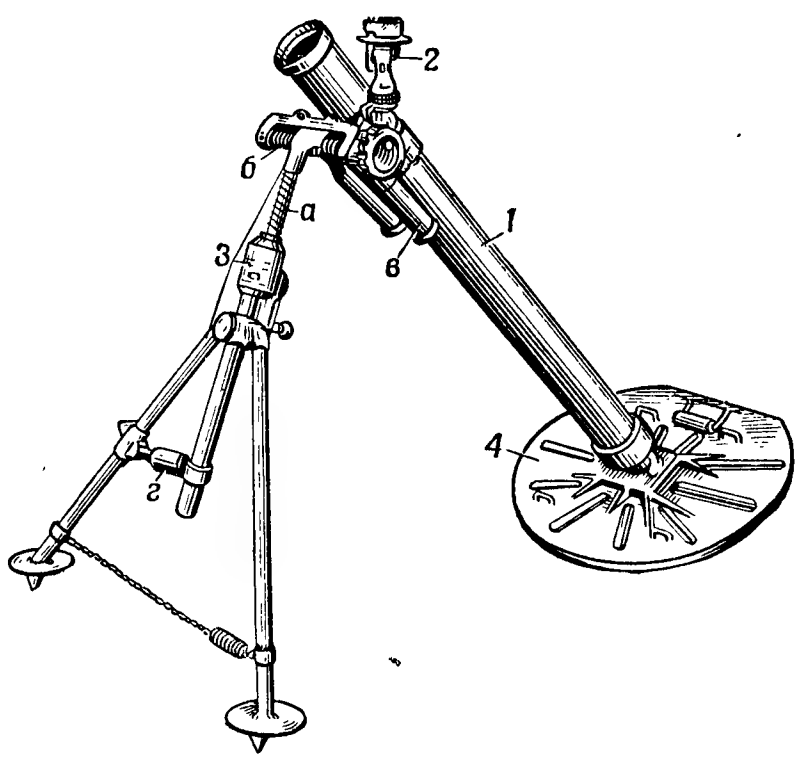


Рис. 218. Основные части 82-*мм* миномета. Боевое положение:

1 — ствол; *2* — прицел; *3* — двунога-лафет; *4* — опорная плита; *а* — винт подъемного механизма; *б* — винт поворотного механизма; *в* — амортизатор; *г* — механизм горизонтирования

Первоначально минометы использовались как орудия траншейной артиллерии в позиционной войне для стрельбы на самые малые дальности. Однако опыт Великой Отечественной войны показал, что минометы могут применяться как в позиционной войне, так и в маневренной и из них можно вести стрельбу не только на малые, но и на средние дальности.

В зависимости от боевого назначения минометы подразделяются на:

а) минометы непосредственного сопровождения пехоты (кавалерии) в бою — ротные и батальонные минометы (рис. 218);

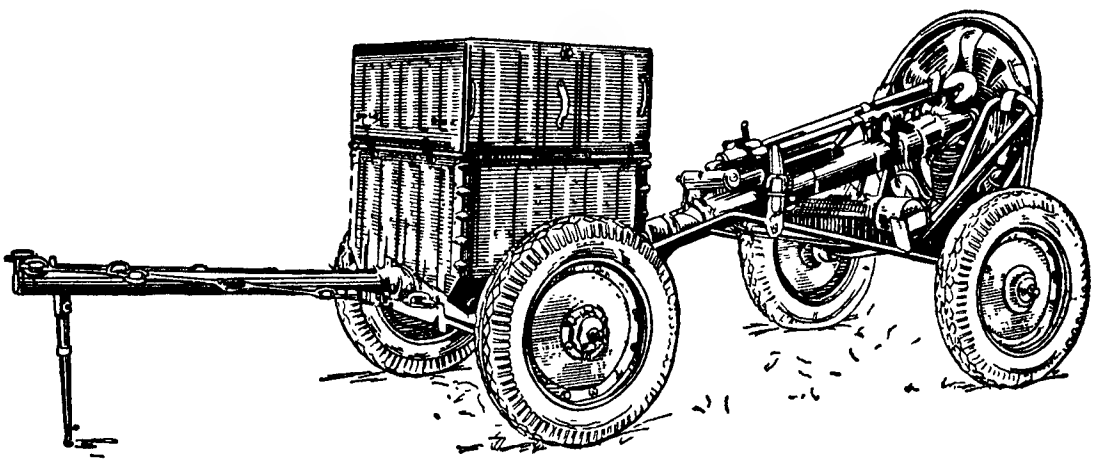


Рис. 219. 120-*мм* миномет в походном положении с передком для конной тяги (2 пары лошадей)

б) минометы непосредственной поддержки пехоты (кавалерии) — полковые минометы (рис. 219);

в) минометы прорыва или большой мощности (для разрушения оборонительных сооружений противника и для уничтожения его живой силы — рис. 220) [1].

При расчете минометов учитывают, что давление в стволе не превышает 1000 *кг/см*^{2} и что начальная скорость мины сравнительно невелика (до 300 *м/сек*).

Благодаря тому что давление в минометном стволе невелико и опрокидывающий момент при выстреле отсутствует, минометы делают без противооткатных устройств и без больших опорных поверхностей (плит).

Минометы — гладкоствольные орудия с жестким лафетом без щитового прикрытия. При выстреле давление газов на дно канала миномета передается через плиту на грунт. Так как грунт не является абсолютно жестким телом, то фактически ствол и плита перемещаются при выстреле как одно целое назад.

[1] В 1943 г. на вооружение Советской Армии был принят 160-*мм* миномет с заряжанием с казны. Это был самый мощный миномет во время второй мировой войны. Перевозится миномет на прицепе тягачом.

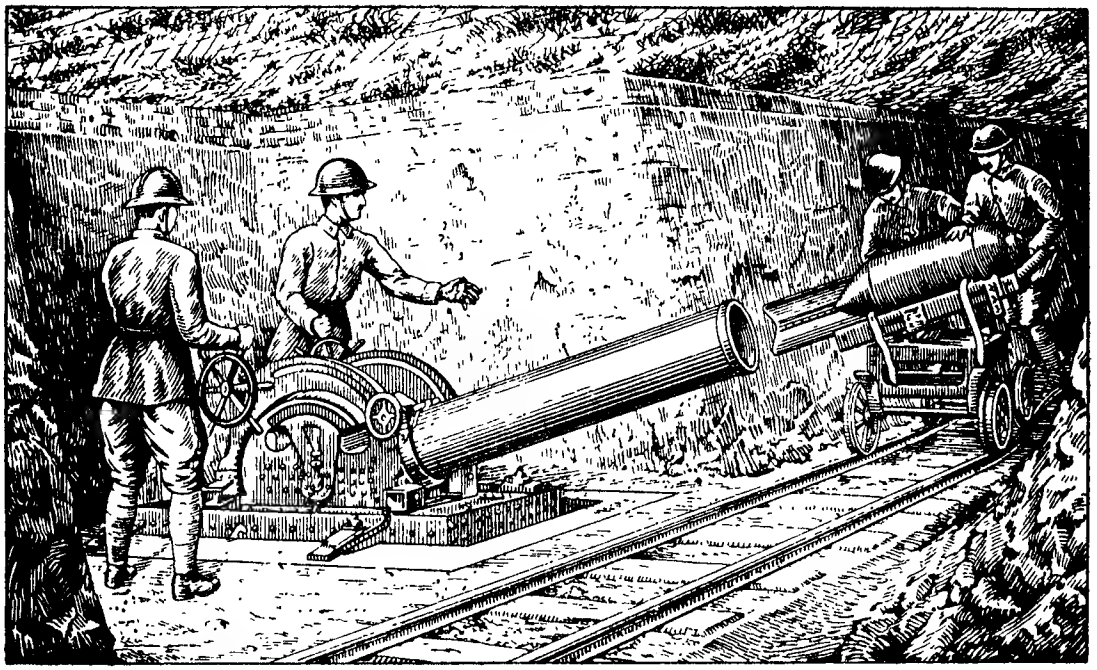


Рис. 220. 340-*мм* французский миномет времен первой мировой войны

Плита при выстреле воспринимает значительные нагрузки и деформируется (прогибается). После отката под действием реакций грунта и силы упругости плиты ствол с плитой возвращаются в начальное положение.

Перемещение ствола с плитой происходит быстро и резко, с сильными толчками.

Для устранения разрушающих напряжений в плите необходимо, чтобы плита плотно прилегала к поверхности грунта и имела наклон, при котором направление ствола было бы примерно перпендикулярным к поверхности плиты.

Имеются минометы с круговым обстрелом без перемены положения опорной плиты. Это достигается особым устройством плиты, обеспечивающим хорошее сцепление с грунтом при любом направлении стрельбы.

Чтобы устранить разрушающее действие ударных нагрузок при выстреле на прицел и механизмы наводки миномета, между стволом и двуногой-лафетом ставят амортизаторы и тем самым создают упругую связь. Амортизаторы представляют собой пружины, которые сжимаются при выстреле; благодаря этому при перемещении ствола с плитой во время выстрела на двуногу-лафет, на которой смонтированы прицел и механизмы наводки (см. рис. 218), действует сравнительно небольшая сила, равная силе сжатия пружин амортизатора.

Пружины амортизатора (рис. 221) должны поддерживать ствол до выстрела и обеспечивать возможность отката ствола, при этом они не должны сжиматься вплотную, так как иначе

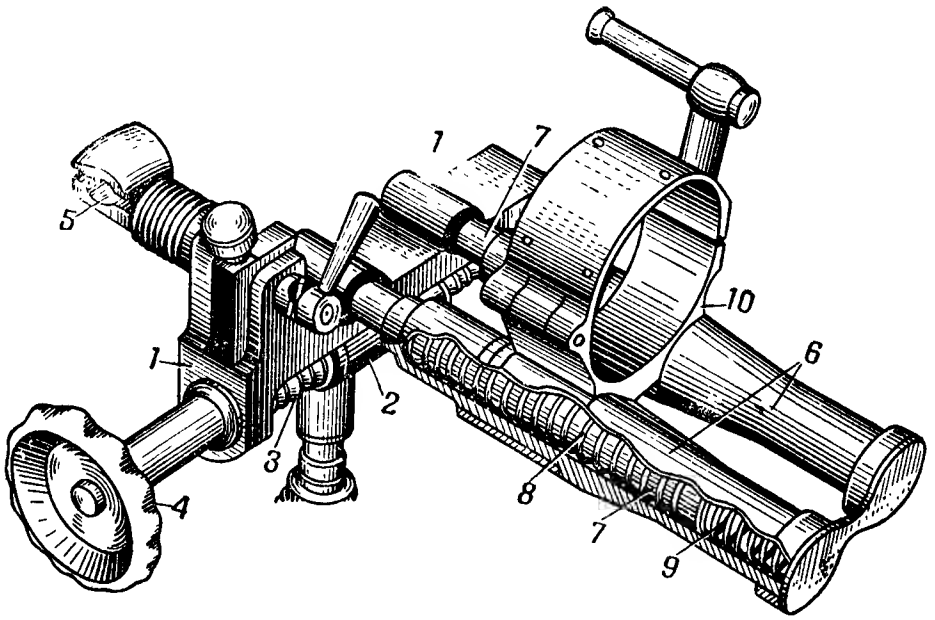


Рис. 221. Вертлюг с поворотным механизмом, амортизатором и качающимся кронштейном:

1 — вертлюг; *2* — матка; *3* — ходовой винт; *4* — маховичок; *5* — корпус качающегося кронштейна для прицела; *6* — цилиндры амортизатора; *7* — штоки; *8* — большая пружина; *9* — малая пружина; *10* — обойма с наметкой

получится жесткий удар по лафету-двуноге. Амортизаторы, кроме того, смягчают ударную нагрузку на двуногу при возвращении ствола в переднее положение.

Почти вся энергия отката миномета поглощается грунтом, амортизаторы же поглощают лишь ничтожную часть этой энергии.

Минометные прицелы сначала были очень примитивные — механические, жесткие и некачающиеся. Для горизонтирования их приходилось поворачивать ствол вместе с двуногой-лафетом. В дальнейшем были созданы специальные механизмы горизонтирования.

Развитие минометных прицелов шло по линии введения коллиматорных визиров и точных шкал наводки (с точностью до одной тысячной), а также применения качающихся прицелов, при наличии которых необходимость иметь механизмы точного горизонтирования отпала.

Минометные снаряды — мины (рис. 222) отличаются от снарядов нарезных орудий формой, соотношением весов элементов снаряда и наличием стабилизатора.

Скорость полета мины сравнительно небольшая. Для уменьшения падения этой скорости под действием сопротивления воздуха мине придают каплеобразную форму.

Благодаря малым давлениям в стволе миномета при выстреле представляется возможным делать мины тонкостенными, литыми из материала сравнительно невысокого качества (из сталистого чугуна). Это удешевляет и ускоряет производство мин, кроме того, позволяет помещать в мине большее количество взрывчатого вещества.

Для сохранения устойчивости мины на полете служит стабилизатор.

Унитарное безгильзовое заряжание позволяет широко использовать гибкость траектории при переменной плотности заряжания и сохранить большую скорострельность.

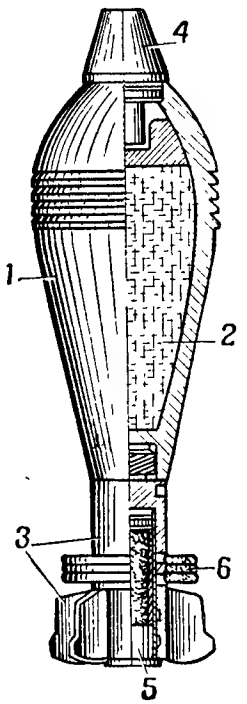


Рис. 222. 82-*мм* осколочная мина с основным зарядом и дополнительными кольцевыми зарядами:

1 — корпус; *2* — разрывной заряд; *3* — стабилизатор; *4* — взрыватель; *5* — основной заряд или нулевой; *6* — дополнительные заряды

Ударные механизмы минометов

Простейшей конструкцией ударного механизма является жесткий ударник, ввинченный в дно казенника. При заряжании мина, опускаясь в стволе под действием собственного веса, накалывается капсюлем, помещенным в гильзе нулевого заряда, на боек ударника, в результате чего и происходит воспламенение заряда (выстрел).

Жесткий ударник обеспечивает простоту конструкции и большую скорострельность. В тяжелых минометах (полковых) ударник может иметь два положения — жесткое и взводимое.

Ударный механизм со взводимым ударником (рис. 223) аналогичен по своему действию ударному механизму поршневых затворов (см. рис. 57). Боек ударника до отвода курка (спускового рычага) бывает утоплен, вследствие чего исключена возможность самопроизвольного разбивания капсюля при заряжании.

Стрельба со взводимым ударником производится в тех случаях, когда сила удара капсюлем мины по бойку оказывается недостаточной для воспламенения капсюля (при углах возвышения, близких к 45°) или когда после заряжания требуется проверка наводки и отход заряжающих от миномета.

О зазоре между миной и стволом миномета

Для обеспечения определенной скорости падения мины в стволе при заряжании калибр ствола должен быть больше калибра мины примерно на 0,7 *мм* (для выхода из ствола воздуха, сжимаемого миной).

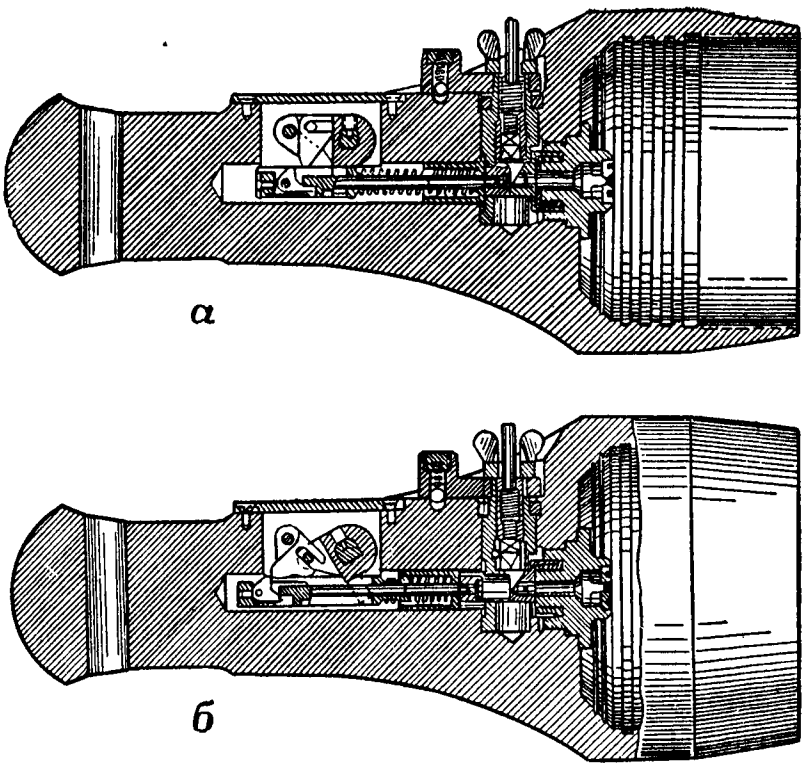


Рис. 223. Казенник 120-*мм* миномета со стреляющим приспособлением:
а — ударник в свободном состоянии; *б* — ударник в момент спуска

Для уменьшения же утечки газов из ствола при выстреле (через зазор между миной и стволом) на мине делают ряд кольцевых выточек трапецеобразной формы, в которых газовые молекулы многократно отражаются, прежде чем выйти из ствола. Получается частичное самозапирание газов. Утечка газов через зазор несколько уменьшает их коэффициент полезного действия. Чтобы исключить большое рассеивание мин, необходимо обеспечить постоянную величину зазоров для всех мин и стволов.

При очень малом зазоре или густо смазанной мине может получиться недоход мины до ударника или слабый удар без разбития капсюля. Чтобы заряжающий не смог сделать заряжание второй миной при наличии первой мины в стволе, на дульную часть ствола устанавливают специальный предохранитель против двойного заряжания, чем устраняется возможность несчастного случая.

§ 2. ТРАНСПОРТНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ПЕРЕВОЗКИ МИНОМЕТОВ

Минометы, переносимые людьми, должны иметь специальные вьючные приспособления, обеспечивающие удобство переноски и быстроту перевода из походного положения в боевое (рис. 224).

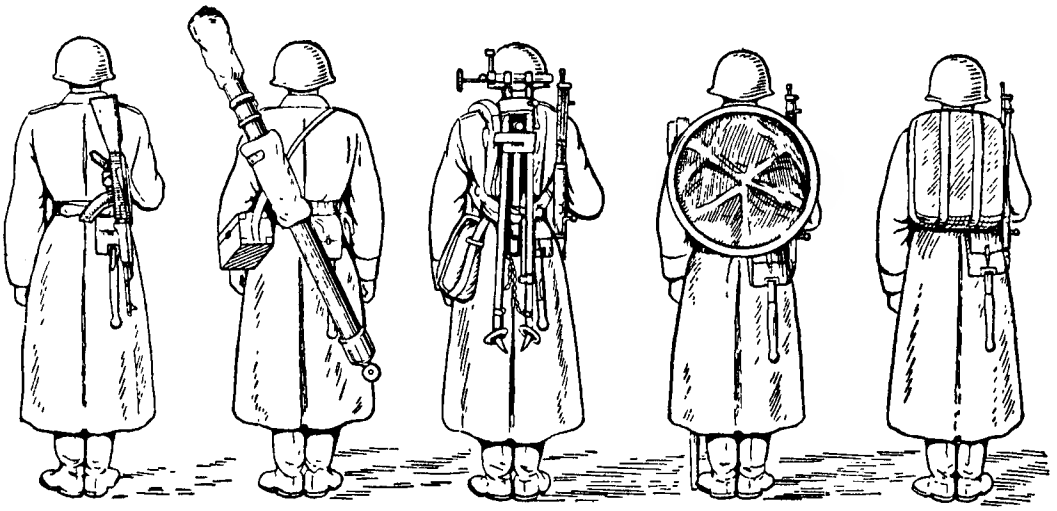


Рис. 224. Вьюки для переноски 82-*мм* миномета обр. 1937 г. и лотков с минами

Конструкция миномета, переносимого людьми, должна обеспечивать быстроту разборки его на части. При этом желательно, чтобы вес вьюка не превышал 16—20 *кг*. Вьюки, приспособленные для крепления на спине, наиболее удобны, так как оставляют руки свободными и не мешают переползанию.

Минометы, разбираемые на конские вьюки, должны иметь специальное снаряжение для крепления их к седлам. Желательно, чтобы вес вьюка с седлом не превышал 130 *кг* (рис. 225).

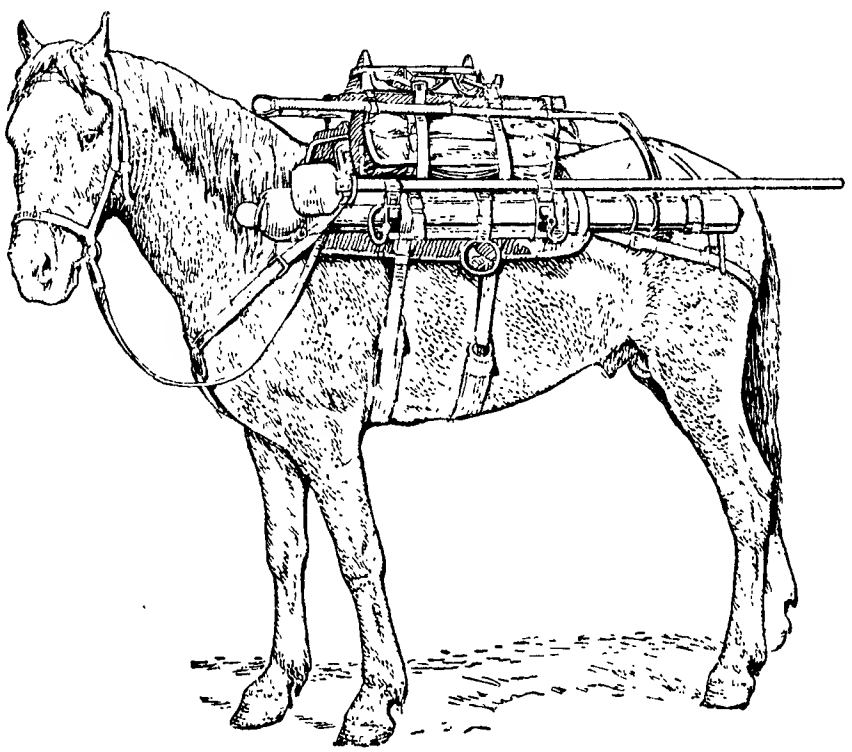


Рис. 225. Конский вьюк для перевозки 82-*мм* миномета

Разборка минометов для перевозки на вьюках и сборка их должны производиться без каких-либо инструментов и приспособлений.

Все разборные минометы должны быть приспособлены также для перевозки без разборки.

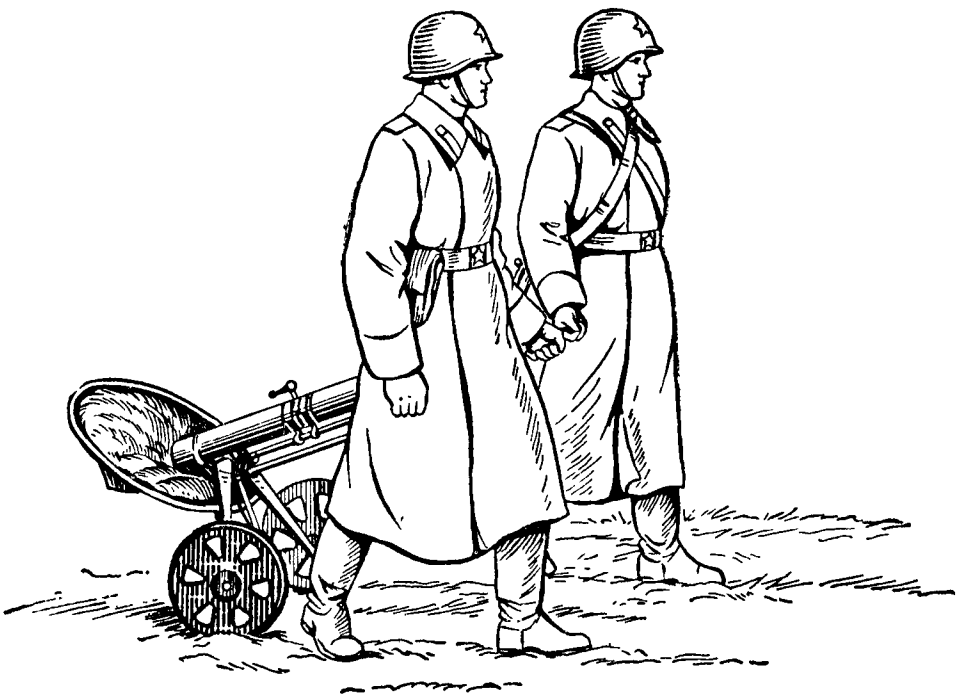


Рис. 226. 82-*мм* миномет обр. 1941 г. в походном положении

Для того чтобы батальонный миномет не отставал от своих войск на поле боя, он должен быть приспособлен для передвижения усилием одного-двух человек (рис. 226). Эта задача удачно разрешена в наших минометах — у них имеется малый колесный ход (от пулеметного станка). В зимних условиях батальонный миномет транспортируется в лодках-волокушах или на лыжах.

Отечественные полковые минометы имеют специальные двухколесные хода со шворневой лапой для соединения со специальным передком или со шворнем грузового автомобиля. Хода при переходе в боевое положение отделяются. В стрелковых полках минометы с их передками могут перевозиться четверками лошадей.

В механизированных частях полковые и батальонные минометы с их расчетами перевозятся на автомобилях.

При перевозке на автомобилях минометы должны быть надежно прикреплены к платформе.

ГЛАВА II

РЕАКТИВНОЕ ВООРУЖЕНИЕ

§ 1. КРАТКИЙ ИСТОРИЧЕСКИЙ ОЧЕРК РАЗВИТИЯ РЕАКТИВНОГО ВООРУЖЕНИЯ

Имеются документальные данные о производстве и применении русской артиллерией реактивных снарядов в конце XVI и начале XVII в.

В России производство ракет для нужд армии было широко развернуто при Петре I. Уже в то время русские пиротехники считались непревзойденными мастерами своего дела.

Большой шаг вперед в развитии реактивных снарядов был сделан в первой половине XIX в., когда научная мысль многих выдающихся артиллеристов того времени (генерал А. Д. Засядко, генерал К. И. Константинов и другие) была направлена на создание и развитие самой передовой и мощной реактивной артиллерии (рис. 227). В России была организована первая в мире научная лаборатория по реактивной технике; там определялись основные характеристики и свойства реактивных двигателей, снарядов и т. п. Это дело велось под руководством профессора Артиллерийской академии К. И. Константинова, который заложил основы науки о реактивном движении и об устройстве реактивных снарядов.

Труды К. И. Константинова о реактивном движении и в настоящее время представляют большой интерес. К. И. Константинов был продолжателем дела А. Д. Засядко — военного деятеля времен Отечественной войны 1812 г., положившего начало созданию и развитию новой реактивной артиллерии в России.

Реактивная артиллерия в середине XIX в. состояла в большом количестве на вооружении русской армии. Только вследствие усиленного развития нарезной артиллерии во второй половине XIX в. реактивная артиллерия была постепенно вытеснена.

В конце XIX в. в России с новой силой началась борьба за совершенствование реактивной техники и науки о реактивном движении снарядов. Эту борьбу возглавил известный русский

ученый К. Э. Циолковский. Около 50 лет своей жизни он посвятил разработке вопросов теории и практики реактивного движения.

К. Э. Циолковский не был военным специалистом и не получил признания со стороны официальных научных кругов ста-

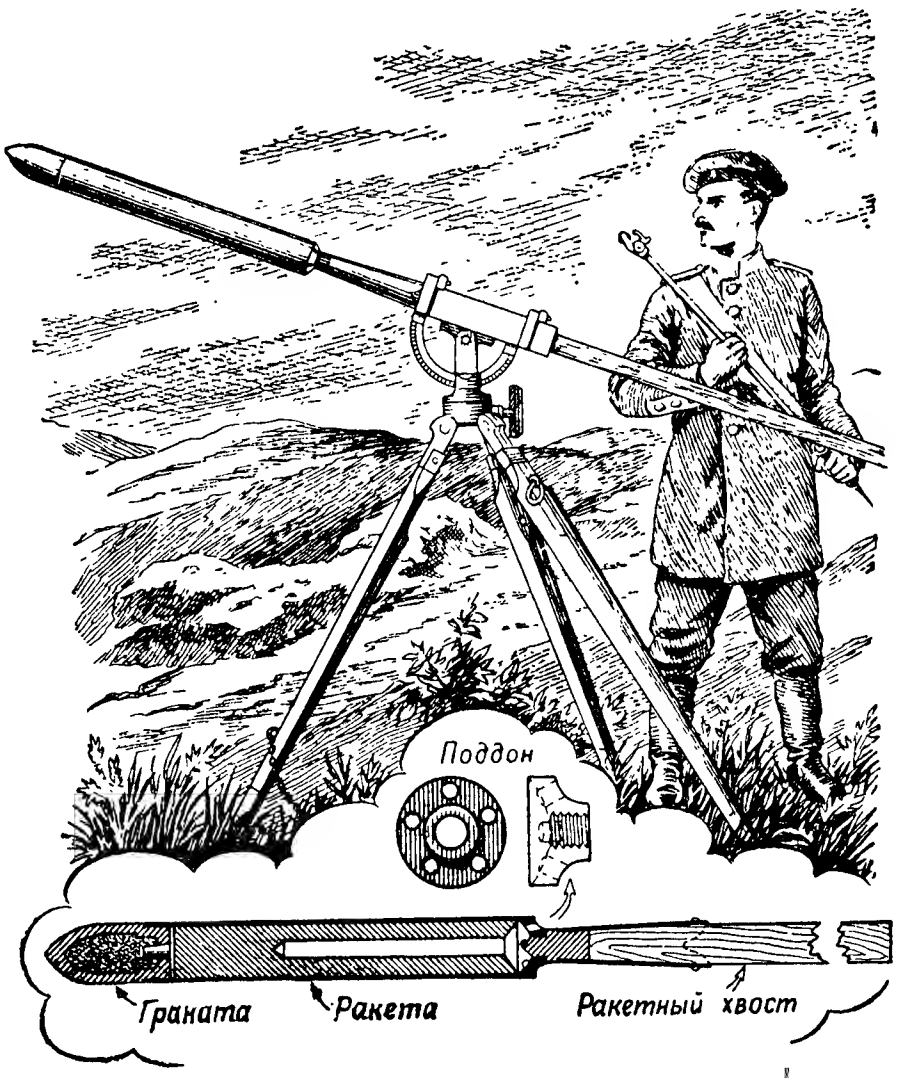


Рис. 227. Метательная установка с реактивным снарядом, сконструированная генералом К. И. Константиновым (середина XIX в.)

рой России. Поэтому во времена царизма все его начинания остались без поддержки. Только после Великой Октябрьской социалистической революции К. Э. Циолковскому была оказана всемерная помощь со стороны Советского правительства. Благодаря этому он смог развернуть работу по дальнейшему развитию своей теории и ее применению на практике. Он создал ряд проектов различных реактивных двигателей.

Основная формула для современного расчета всех реактивных двигателей (в том числе и реактивных снарядов) была

выведена К. Э. Циолковским и получила название формулы Циолковского.

К. Э. Циолковский первым в мире научно доказал возможность полетов на реактивных летательных аппаратах на любые расстояния и на любых высотах (рис. 228).

Учениками Циолковского были созданы ракеты самых различных конструкций на жидком и на пороховом топливе.

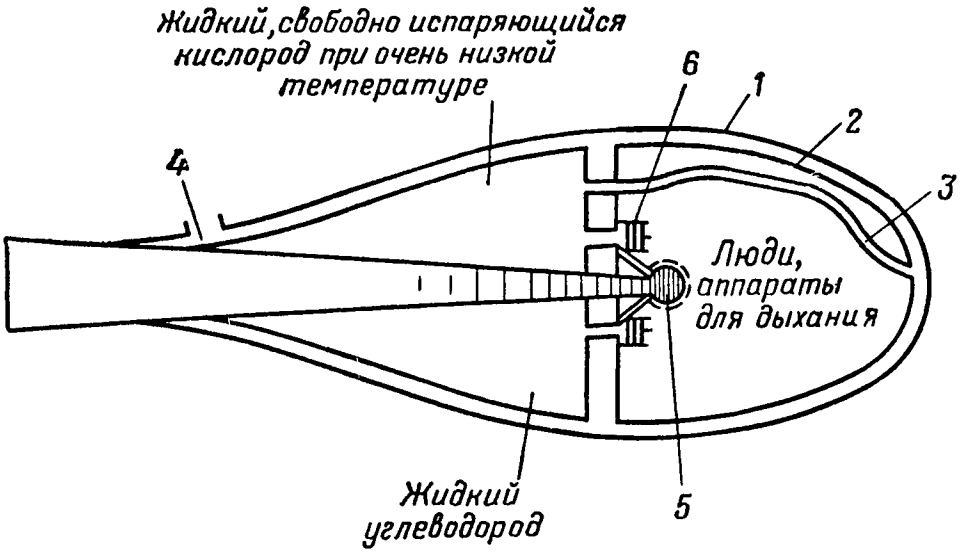


Рис. 228. Схема жидкостной ракеты К. Э. Циолковского (начало XX в.):

1 и *2* — оболочки; *3* — труба, по которой подводится кислород для охлаждения корпуса ракеты; *4* — отверстие; *5* — камера сгорания; *6* — насос

§ 2. ПРИНЦИП УСТРОЙСТВА И ДЕЙСТВИЯ РЕАКТИВНЫХ СНАРЯДОВ

Каждый реактивный снаряд содержит в себе заряд, энергия которого используется для сообщения движения реактивному снаряду. Этот заряд называется реактивным зарядом. Он может быть в твердом, жидком или газообразном состоянии. Снаряд называется реактивным потому, что он получает движение за счет отталкивающего, или, иначе говоря, реактивного, действия каждой газовой молекулы реактивного заряда в момент ее вылета из реактивного снаряда, а не за счет работы расширения пороховых газов (что имеет место в обычном орудии).

Еще К. И. Константинов на основании закона механики — действие равно по величине и обратно по направлению противодействию — совершенно точно определил, что количество движения, сообщаемое реактивному снаряду газами, покидающими снаряд, равно по величине и обратно по направлению количеству поступательного движения, с которым улетают газы. При этом он учитывал векторный характер скорости и количества движения.

Рассмотрим идеальный случай реактивного действия заряда, т. е. случай, когда весь заряд мгновенно переходит в газовое состояние, при этом газовые частицы мгновенно отталкиваются от снаряда и улетают из каморы снаряда с некоторой общей средней скоростью в направлении, параллельном оси снаряда. Здесь не учитывается полезная роль раструба снаряда — сопла. Этот случай — теоретическая абстракция, но он очень облегчает дело изучения явления, поэтому мы и разберем его сначала.

Обозначим вес реактивного заряда через ω, вес остальной части снаряда через q и среднюю скорость, общую для всех молекул, с которой молекулы отражаются от снаряда, через $V_{ср}$.

При всех указанных условиях получим зависимость между скоростью снаряда в момент конца действия реактивного заряда (v_0), скоростью молекул $V_{ср}$, весами заряда и снаряда в виде уравнения

$$\frac{q}{g} v_0 = \frac{\omega}{g} V_{ср}$$

Это уравнение словами можно выразить так.

Количество движения снаряда (без реактивного заряда), сообщенное реактивным зарядом, равно по величине и обратно по направлению количеству движения, с которым оттолкнулись от снаряда все молекулы реактивного заряда.

Из этого уравнения получим

$$v_0 = V_{ср} \frac{\omega}{q} \quad \text{и} \quad V_{ср} = v_0 \frac{q}{\omega}$$

Величину средней скорости молекул, с которой они покидают камору, не имеющую сопла, можно определить по удельному потенциалу заряда П (тепловая энергия 1 *кг* заряда в момент его сгорания)

$$\frac{П}{3} = \frac{V_{ср}^2}{2g}, \text{ откуда } V_{ср} = \sqrt{\frac{2}{3} gП}$$

Так как согласно кинетической теории газов молекулы стремятся разлететься во все стороны, то это равносильно тому, что в направлении каждой из трех взаимно перпендикулярных осей движутся молекулы с энергией, которая в три раза меньше энергии всего заряда. Таким образом, если П — вся

кинетическая энергия 1 *кг* молекул, то $\frac{П}{3}$ — кинетическая энергия 1 *кг* молекул в направлении оси снаряда.

Пример. Снаряд имеет общий вес $q + \omega = 10$ *кг*; реактивный заряд весит 5 *кг*. Реактивный заряд — порох с потенциалом $П = 400000$ *кгм/кг*. Сопла нет.

Определить скорость реактивного снаряда в конце действия реактивного заряда без учета сопротивления воздуха и трений на направляющих при мгновенном сгорании и истечении газов.

Решение.

$$v_0 = V_{ср}\frac{\omega}{q} = \sqrt{\frac{2}{3}gП}\cdot\frac{\omega}{q} = \sqrt{\frac{2}{3}\cdot 9{,}81\cdot 400000}\cdot\frac{5}{5} =$$

$$= 1620 \text{ } м/сек.$$

$V_{ср} = v_0$ только при $\omega = q$.

§ 3. ОСНОВНАЯ ФОРМУЛА ДЛЯ РАСЧЕТА РЕАКТИВНОГО ДВИЖЕНИЯ — ФОРМУЛА К. Э. ЦИОЛКОВСКОГО

К. Э. Циолковский подробно исследовал все вопросы, связанные с реактивным движением не только на малые расстояния, но и для космических полетов. Рассмотрим основную формулу для расчета скорости движения снаряда (или самолета), сообщаемой реактивным действием истекающих газов, без учета сил тяжести и сопротивления воздуха. Эта формула учитывает постепенный выход газов из реактивной каморы (реальный). Влияние различных конструктивных особенностей реактивной каморы, сопла, заряда, а также сорта топлива учитывается введением соответствующего значения эффективной скорости истечения газов (уточняемой опытным путем для каждого вида топлива, реактивной каморы, сопла, устройства заряда и т. д.).

Формула имеет следующий вид:

$$v_0 = 2{,}3V_e \lg\left(\frac{q+\omega}{q}\right) \text{ или } v_0 = 2{,}3V_e \lg\left(1 + \frac{\omega}{q}\right).$$

Значение величин:

v_0 — скорость снаряда в конце истечения газов;

V_e — эффективная скорость истечения газов, т. е. среднее значение скорости истечения газов относительно снаряда в направлении, параллельном оси снаряда, для порохов

$$V_e = 1500 - 2000 \frac{м}{сек};$$

$\lg\left(\frac{q+\omega}{q}\right)$ — десятичный логарифм отношения суммы начального веса снаряда (q) и заряда (ω) к весу снаряда (q).

Для ориентировочных расчетов можно принимать

$$V_e \approx 1800 \frac{м}{сек}.$$

Формула Циолковского показывает, что для любого веса снаряда скорость его v_0 зависит от отношения $\frac{\omega}{q}$.

Пример (с использованием формулы К. Э. Циолковского).

Дано: $q = \omega$; $V_e = 1800 \frac{м}{сек}$. Определить скорость снаряда в конце истечения газов.

Решение.

$$v_0 = 2{,}3 \cdot V_e \cdot \lg\left(1 + \frac{\omega}{q}\right) = 2{,}3 \cdot 1800 \cdot \lg 2 = 2{,}3 \cdot 1800 \cdot 0{,}301 \approx 1250 \frac{м}{сек}.$$

Примечания: 1. Формулой К. Э. Циолковского можно пользоваться не только для момента полного истечения газов, но и для любого момента их истечения. Общий вид формулы для любого момента истечения газов

$$v_x = 2{,}3 \cdot V_e \lg\left(\frac{q + \omega}{q + \omega - \omega_x}\right),$$

где ω_x — вес газов, истекших к данному моменту;
v_x — скорость снаряда в данный момент.

2. В отношении наилучшего использования заряда большую роль играет сопло. Благодаря соплу $V_e > V_{ср.}$ Несмотря на это, v_0 при постепенном истечении газов меньше, чем при мгновенном истечении, потому что бóльшая часть газов истекает из снаряда, движущегося с значительной скоростью. При постепенном истечении газов часть реактивного действия их расходуется на ускорение части заряда, еще не обратившейся в газы. Вследствие этого полезное действие газов при постепенном истечении меньше, чем при мгновенном истечении. Все эти особенности реактивного процесса учитывает формула К. Э. Циолковского.

На основании формулы К. Э. Циолковского можно сделать вывод, что главными путями повышения скорости реактивных снарядов являются:

1) увеличение веса заряда;

2) применение высококалорийного топлива, обеспечивающего большое значение эффективной скорости истечения газов.

РАЗДЕЛ ШЕСТОЙ

ПОНЯТИЕ О ДЕЙСТВИИ ВЫСТРЕЛА НА ТАНК (САМОХОД)

(рис. 229)

§ 1. ОБЩАЯ КАРТИНА ДЕЙСТВИЯ ВЫСТРЕЛА НА ТАНК

Сила $P_{кн}$ толкает откатные части орудия назад, благодаря чему происходит их откат. Откатные части тормозятся, а затем накатываются противооткатными устройствами подобно тому, как это происходит в полевом орудии. Танк подрессорен и не имеет сошников, поэтому он может откатываться и вращаться вокруг своего центра тяжести. Благодаря большим массам танка и большим силам трения при перемещении танка путь отката всего танка и амплитуда колебаний танка вокруг своего центра тяжести невелики. Оказывается, что широко распространенное представление о чрезмерных нагрузках танка и экипажа действием выстрела ошибочны. Из танка можно вести скорострельную и меткую стрельбу.

§ 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ДВИЖЕНИЯ ТАНКА, ВЫЗВАННЫХ ДЕЙСТВИЕМ ВЫСТРЕЛА

Применим для исследования элементов движения танка, вызванных действием выстрела, методику исследования свободного и торможенного отката, то есть сначала определим элементы движения свободного отката (поступательного и вращательного) танка, а затем учтем действие сил и моментов, тормозящих движение танка.

Танк можно рассматривать как орудие с двойным откатом. Корпус с башней представляют собой вторые откатные части системы с двойным откатом. Корпус с башней получают движение за счет действия на них реакции со стороны первых откатных частей (ствола и деталей, связанных с ним в одно целое).

Исследование будем вести приближенно с округлением в сторону увеличения ускорений, скоростей и путей отката танка, чтобы выявить наибольшие результаты действия выстрела на танк.

Рассмотрим действие выстрела на танк

Сначала разберем случай стрельбы с места при нахождении танка на горизонтальной площадке при угле возвышения $\varphi = 0$ и при совпадении плоскости стрельбы с продольной плоскостью симметрии корпуса танка.

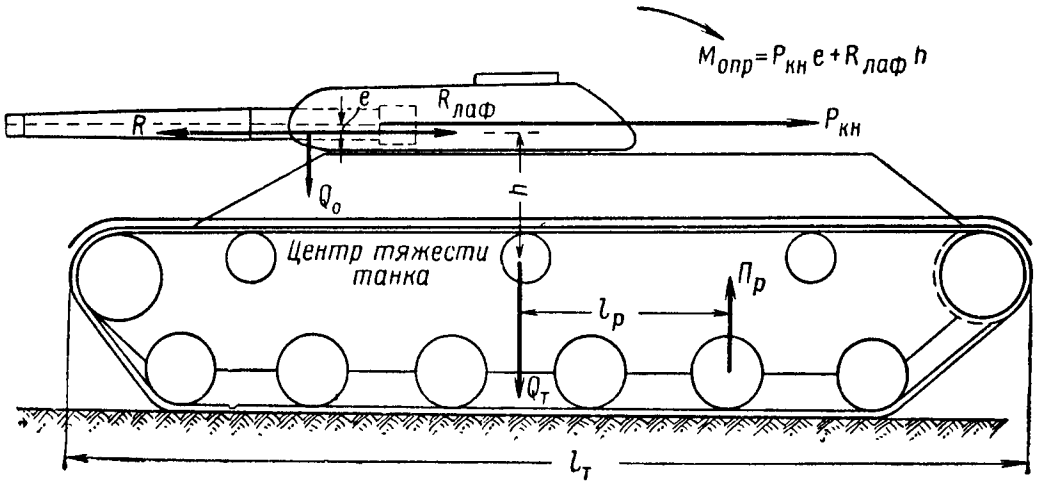


Рис. 229. Схема действия выстрела на танк

Тормоза гусениц и сцепление в главном фрикционе выключены.

Во время выстрела со стороны откатных частей орудия на танк действует сила $R_{лаф}$, равная по величине, но обратная по направлению силе сопротивления откату R.

$$R_{лаф} = -R.$$

Эта сила приложена к центру тяжести откатных частей. Сила $R_{лаф}$ состоит из сил, действующих на цапфы люльки и на зубцы подъемного механизма.

В танковых и самоходных орудиях, как правило, сила $R_{лаф}$ принимается постоянной для всего отката ствола.

Полное время действия силы $R_{лаф}$ на танк определяется по закону связи импульса силы с приращением количества движения, вызываемым этим импульсом. Конкретно, так как сила R должна полностью затормозить откатные части за время отката ($t_{от}$), то, учитывая, что $|R_{лаф}| = |R|$, получим

$$\frac{Q_0 W_{max}}{g} = R_{лаф}\, t_{от},$$

откуда

$$t_{от} = \frac{Q_0 W_{max}}{g R_{лаф}} = \frac{(q + \beta\omega)\, v_0}{g R_{лаф}},$$

где β — коэффициент последействия газов.

Для танковых пушек $\beta = \frac{1400}{v_0} + 0{,}15.$

Сила $R_{\text{лаф}}$ будет стремиться толкать танк в сторону отката. Если сила $R_{\text{лаф}}$ будет больше силы трения катков по гусенице $f_1 Q_{\text{т}}$, то танк будет перемещаться назад; $Q_{\text{т}}$ — вес танка[1]. Определим наиболее возможное **ускорение** танка под действием силы $R_{\text{лаф}}$ и горизонтальное **перемещение** его к моменту вылета снаряда, к моменту конца последействия газов, к моменту конца отката ствола и к моменту конца отката танка.

Пренебрегая силой трения катков по гусенице, найдем наибольшее ускорение поступательного перемещения танка за счет действия силы $R_{\text{лаф}}$.

$$j_{R,\,\text{т}} = \frac{gR_{\text{лаф}}}{Q_{\text{т}} - Q_0},$$

где Q_0 — вес откатных частей орудия.

Такое ускорение будет действовать в течение всего отката ствола.

Скорость отката танка при $R_{\text{лаф}} = \text{const}$ в момент вылета снаряда

$$V_{\text{т},\,R,\,\partial} = j_{R,\,\text{т}}\, t_\partial \approx j_{R,\,\text{т}} \frac{2l_\partial}{v_0} = \frac{2gR_{\text{лаф}}\, l_\partial}{Q'_{\text{т}}\, v_0},$$

где l_∂ — путь снаряда по каналу ствола,

t_∂ — время движения снаряда по каналу ствола

и

$$Q'_{\text{т}} = Q_{\text{т}} - Q_0.$$

Скорость отката танка в момент конца последействия газов

$$V_{\text{т},\,R,\,\text{к}} = j_{R,\,\text{т}}\, t_{\text{к}} \approx 2 j_{R,\,\text{т}}\, t_\partial = 2V_{\text{т},\,R,\,\partial}.$$

Скорость отката танка в момент конца отката ствола орудия — наибольшая скорость свободного отката танка.

$$V_{\text{т},\,R,\,\lambda} = j_{R,\,\text{т}}\, t_{\text{от}} = \frac{gR_{\text{лаф}}}{Q'_{\text{т}}} \cdot \frac{(q + \beta\omega)\, v_0}{gR_{\text{лаф}}} = \frac{(q + \beta\omega)\, v_0}{Q'_{\text{т}}}.$$

Перемещение танка за счет действия силы $R_{\text{лаф}}$ к моменту вылета снаряда

$$X_{\text{т},\,R,\,\partial} = \frac{V_{\text{т},\,R,\,\partial}}{2}\, t_\partial = \frac{j_{R,\,\text{т}}}{2}\, t_\partial^2.$$

Перемещение танка в момент конца последействия газов

$$X_{\text{т},\,R,\,\text{к}} = \frac{V_{\text{т},\,R,\,\text{к}}}{2}\, t_{\text{к}} = \frac{j_{R,\,\text{т}}}{2}\, t_{\text{к}}^2 \approx 2 j_{R,\,\text{т}}\, t_\partial^2.$$

Перемещение танка за счет действия силы $R_{\text{лаф}}$ к моменту конца отката ствола

$$X_{\text{т},\,R,\,\lambda} = \frac{V_{\text{т},\,R,\,\lambda}}{2}\, t_{\text{от}} = \frac{j_{R,\,\text{т}}}{2}\, t_{\text{от}}^2.$$

[1] f_1 — коэффициент трения катков при страгивании танка с места.

Теперь исследуем **вращение танка** за счет действия выстрела.

При наличии невыключенного подрессоривания можно принять допущение о возможности вращения танка вокруг его центра тяжести.

Моментами, стремящимися вращать танк, являются момент динамической пары $P_{кн}e$ и момент силы $R_{лаф}$ относительно центра тяжести танка $R_{лаф}h$, где h — плечо силы, $R_{лаф}$ — расстояние от центра тяжести танка до линии действия $R_{лаф}$.

Суммарный опрокидывающий момент будет

$$M_{опр} = P_{кн}\,e + R_{лаф}\,h.$$

Угловое ускорение вращения танка от действия выстрела

$$\varepsilon = \frac{M_{опр}}{I_т},$$

где ε — угловое ускорение и

$I_т$ — момент инерции танка относительно поперечной оси, проходящей через его центр тяжести.

После конца действия газов угловое ускорение будет постоянным, при $R_{лаф} = \text{const}$

$$\varepsilon_{п} = \frac{R_{лаф}\,h}{I_т}.$$

Угловая скорость вращения танка от действия выстрела

$$\omega = \varepsilon_{ср} \cdot t.$$

К моменту вылета снаряда

$$\omega_{д} = \varepsilon_{ср.\,д} \cdot t_{д} = \frac{P_{кн,\,ср,\,д}\,e + R_{лаф}\,h}{I_т} \cdot t_{д}.$$

Среднее значение силы $P_{кн} = p \cdot S$ можно найти по известным v_0, q, ω, $l_{д}$ и $t_{д} = \frac{2l_g}{v_0}$.

$$P_{кн,\,ср,\,д}\,t_{д} = \frac{q + 0{,}5\omega}{g} v_0.$$

Импульс среднего значения силы $P_{кн}$ за время движения снаряда по каналу ствола равен количеству движения снаряда и половине заряда:

$$P_{кн,\,ср,\,д} = \frac{q + 0{,}5\omega}{g t_{д}} v_0.$$

Поэтому

$$\omega_{д} = \left(\frac{q + 0{,}5\omega}{g t_{д}} v_0 \cdot e + R_{лаф}\,h\right) \frac{t_{д}}{I_т}.$$

Угловая скорость к моменту конца последействия газов (подобно скорости к моменту вылета снаряда)

$$\omega_{к} = \left(\frac{q + 3\omega}{g t_{к}} v_0 \cdot e + R_{лаф}\,h\right) \frac{t_{к}}{I_т},$$

где $t_к$ — время действия газов, приближенно $t_к = t_д + t' \approx 2t_д$.

Угловая скорость к моменту конца отката ствола

$$\omega_л = \omega_к + \varepsilon_п (t_{от} - t_к) = \omega_к + \frac{R_{лаф}\, h}{I_т} (t_{от} - t_к).$$

Угловое перемещение танка вокруг его центра тяжести к моменту вылета снаряда $\varphi_д = \omega_{ср,д} t_д$, где $\omega_{ср,д}$ — средняя скорость вращения танка за время движения снаряда по каналу ствола.

Приближенно можно принять $\omega_{ср,д} = \frac{\omega_д}{2}$, и тогда

$$\varphi_д = \left(\frac{q + 0{,}5\omega}{g t_д} v_0 e + R_{лаф}\, h \right) \frac{t_д^2}{2I_т}.$$

Аналогично приближенно **угловое перемещение** вращения танка вокруг его центра тяжести к моменту конца последействия газов

$$\varphi_к = \left(\frac{q + \beta\omega}{g t_к} v_0 \cdot e + R_{лаф}\, h \right) \frac{t_к^2}{2I_т}.$$

Угловое перемещение танка за счет действия выстрела к моменту конца отката ствола

$$\varphi_л = \varphi_к + \frac{\omega_к + \omega_л}{2} (t_{от} - t_к).$$

Здесь второе слагаемое показывает приращение углового перемещения танка после конца действия газов за счет действия постоянного по своей величине момента $R_{лаф} h$ и инерции.

Величины h — плеча силы $R_{лаф}$ и $I_т$ — момента инерции танка относительно поперечной оси, проходящей через центр тяжести танка, известны по чертежам.

Ориентировочно

$$I_т = \frac{Q_т}{g} \left(\frac{l_т}{m} \right)^2 \approx \frac{Q_т}{g} \left(\frac{l_т}{3} \right)^2 = \frac{Q_т l_т^2}{9g},$$

где $l_т$ — длина танка, $l_т$: m — плечо инерции массы танка.

Наибольший угол поворота танка к моменту полного заторможения его действием рессор (амплитуда колебаний).

Основные соображения: танк по инерции будет продолжать вращаться вокруг своей поперечной оси, проходящей через его центр тяжести, до тех пор, пока его живая сила вращения, приобретенная за время отката, не будет израсходована на сжатие рессор. Работа рессор будет определяться произведением средней за время поворота величин момента силы сопротивления рессор на угол поворота танка.

$$A_р = M_{р,ср} \varphi.$$

Примем, что тормозить вращение будет половина рессор (которые сжимаются при данном вращении танка). Момент сопротивления всех рессор (подвески) вращению танка прямо-

пропорционален коэффициенту угловой жесткости подвески $C_у$ и углу поворота танка φ

$$M_р = C_у \varphi.$$

Среднее значение $M_р$ за время поворота танка на угол φ равно половине значения $M_р$ в конце поворота танка.

$$M_{р,\,ср} = \frac{1}{2} C_у \varphi = П_р l_р.$$

Живая сила вращения танка (наибольшая) равна $E = I_т \frac{\omega_\lambda^2}{2}$.

Работа торможения рессор равна $A_р = П_р l_р \varphi_{тор}$, где $\varphi_{тор}$ — угол поворота танка за время торможения его до $\omega = 0$.

Итак, условие полного торможения вращения танка будет

$$A_р = E \quad \text{или} \quad \frac{1}{2} C_у \varphi_{тор}^2 = I_т \frac{\omega_\lambda^2}{2}.$$

Угол поворота за время торможения до $\omega = 0$

$$\varphi_{тор} = I_т \frac{\omega_\lambda^2}{2П_р l_р} = \omega_\lambda \sqrt{\frac{I_т}{C_у}}.$$

Численно $C_у = (25 \div 30) Q_т \left(\frac{кгм}{\text{радиан}}\right)$ при выражении $Q_т$ в килограммах. Более тяжелой машине соответствует большее $C_у$.

Полное перемещение танка на горизонтальной площадке при $\varphi = 0$ за счет действия выстрела.

При указанных выше условиях (отсутствие работы тормозов гусениц и трения в главном фрикционе) танк остановится, когда работа трения при перемещении танка станет равной кинетической энергии отката танка

$$fQ_т \lambda_т = \frac{Q'_т V_{т,\,R,\,\lambda}^2}{2g},$$

где $fQ_т$ — сила трения в движении, она действует на катки танка со стороны гусениц и направлена против движения танка; откуда полный путь отката танка $\lambda_т$ определится формулой

$$\lambda_т = \frac{Q'_т V_{т,R,\,\lambda}^2}{2gfQ_т} < \frac{V_{т,\,R,\,\lambda}^2}{2gf}.$$

Приближенно с округлением в бо́льшую сторону можно принять

$$\lambda_т = \frac{V_{т,\,R,\,\lambda}^2}{2gf};$$ время отката танка $t_{т,\,\lambda} \approx \frac{2\lambda_т}{V_{т,\,R,\,\lambda}}$.

Приближенное определение силы $R_{лаф}$

Иногда требуется определить силу $R_{лаф}$ для расчета на прочность деталей крепления орудия в башне и для других расчетов танка, самохода.

При известной баллистике орудия и при известной длине отката можно приближенно определить силу $R_{лаф}$, считая ра-

боту силы $R_{лаф}$ на пути отката орудия равной наибольшей живой силе откатных частей орудия при свободном откате (т. е. вычисленная таким образом сила $R_{лаф}$ будет немного завышена):

$$\frac{Q_0 W_{max}^2}{2g} = R_{лаф}\lambda.$$

Поэтому

$$R_{лаф} = \frac{Q_0 W_{max}^2}{2g\lambda},$$

где

$$W_{max} = \frac{q + \beta\omega}{Q_0} v_0.$$

Из двух последних формул получим

$$R_{лаф} = \frac{(q + \beta\omega)^2}{2gQ_0\lambda} v_0^2.$$

Можно также решить и **обратную задачу** — определить необходимый вес откатных частей Q_0 для данной баллистики, чтобы затормозить откат на принятой длине отката постоянным сопротивлением откату

$$Q_0 = \frac{(q + \beta\omega)^2 v_0^2}{2gR_{лаф}\lambda}.$$

§ 3. ПРИМЕР НА ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕЙСТВИЯ ВЫСТРЕЛА НА ТАНК

Дано: Вес танка, кроме откатных частей, $Q'_т = 50$ *т*.

Пушка имеет следующую баллистику:

вес снаряда $q = 15$ *кг*,

вес заряда $\omega = 7$ *кг*,

начальная скорость снаряда $v_0 = 1000 \frac{м}{сек}$,

длина пути снаряда по каналу ствола $l_д = 5$ *м*.

Данные из конструкции орудия:

сопротивление откату $R = 50$ *т*,

плечо динамической пары $e = 0{,}01$ *м*.

Данные из конструкции танка:

плечо силы $R_{лаф}$ относительно центра тяжести танка при $\varphi = 0$, $h = 0{,}5$ *м*.

Момент инерции танка относительно поперечной оси, проходящей через его центр тяжести,

$$I_т = \frac{Q_т}{g}\rho^2 = \frac{Q_т}{g}\left(\frac{l_т}{m}\right)^2 = 20000\ (кгм.\ сек^2),$$

где ρ — радиус инерции массы танка относительно горизонтальной оси, проходящей через центр тяжести танка и перпендикулярной к вертикальной плоскости симметрии корпуса танка; длина танка $l_т = 6$ *м*. Коэффициент угловой жесткости $C_у = 30 \cdot Q'_т$.

Решение:

1. Коэффициент последействия газов

$$\beta = \frac{1400}{v_0} + 0{,}15 = 1{,}55.$$

2 Время отката ствола

$$t_{от} = \frac{q + \beta\omega}{gR_{лаф}} v_0 = \frac{15 + 1{,}55 \cdot 7}{9{,}81 \cdot 50000} \cdot 1000 = 0{,}0485 \text{ сек.}$$

3. Ускорение поступательного движения танка от действия выстрела

$$j_{R,\,т} = \frac{gR_{лаф}}{Q'_т} = \frac{9{,}81 \cdot 50}{50} = 9{,}81 \frac{м}{сек^2}.$$

4. Скорость поступательного движения танка в момент вылета снаряда (скорость отката танка) и время $t_д$

$$V_{т,\,R,\,д} = j_{R,\,т}\, t_д = j_{R,\,т} \frac{2l_д}{v_0} = 9{,}81 \frac{2 \cdot 5}{1000} = 0{,}0981 \frac{м}{сек},$$

где $t_д = 2l_д : v_0 = 10{:}1000 = 0{,}01$ сек.

5. Скорость отката танка в момент конца отката ствола

$$V_{т,\,R,\,к} = j_{т,\,R} \cdot t_{от} = 9{,}81 \cdot 0{,}0485 = 0{,}475 \frac{м}{сек} = 1{,}71 \frac{км}{час}.$$

6. Откат танка к моменту вылета снаряда

$$X_{т,\,R,\,д} = \frac{j_{R,\,т}}{2} t_д^2 = \frac{9{,}81}{2} \cdot 0{,}01^2 = 0{,}00049 \text{ м} = 0{,}5 \text{ мм}.$$

7. Откат танка к моменту конца отката ствола

$$X_{т,\,R,\,к} = \frac{j_{R,\,т}}{2} t_{от}^2 = \frac{9{,}81}{2} \cdot 0{,}0485^2 = 0{,}0115 \text{ м} = 11{,}5 \text{ мм}.$$

8. Среднее значение силы действия газов на ствол за время движения снаряда по стволу

$$P_{кн,\,ср,\,д} = \frac{q + 0{,}5\omega}{gt_д} v_0 = \frac{15 + 0{,}5 \cdot 7}{9{,}81 \cdot 0{,}01} \cdot 1000 = 188000 \text{ кг}.$$

9. Среднее значение опрокидывающего момента от действия выстрела за время движения снаряда по каналу ствола

$$M_{опр,\,ср,\,д} = P_{кн,\,ср,\,д} \cdot e + R_{лаф}\, h =$$
$$= 188000 \cdot 0{,}01 + 50000 \cdot 0{,}5 = 26880 \text{ кгм}.$$

10. Среднее угловое ускорение вращения танка вокруг его центра тяжести от действия выстрела за время движения снаряда по каналу ствола

$$\varepsilon_{ср,\,д} = \frac{M_{опр,\,ср,\,g}}{I_т} = \frac{26880}{20000} = 1{,}344 \left(\frac{\text{радиан}}{\text{сек}^2}\right).$$

В градусах величина $\varepsilon_{ср,\,д}$

$$\varepsilon_{ср,\,д} = \frac{360^\circ}{2\pi} \cdot 1{,}344 = 77 \left(\frac{^\circ}{сек^2}\right).$$

11. Среднее значение опрокидывающего момента от действия выстрела за время последействия газов

$$M_{опр,\,ср,\,к} = P_{кн,\,ср,\,к} e + R_{лаф} h \approx \frac{P_{кн,\,д}}{2} e + R_{лаф}\, h.$$

Среднее значение силы $P_{кн,\,ср,\,к}$ определим из равенства импульса этой силы за время последействия газов приращению количества движения отката

$$P_{кн,\,ср,\,к}\, t' = (\beta - 0{,}5) \frac{\omega}{g} v_0,$$

т. е.

$$P_{кн,\,ср,\,к} = \frac{(1{,}55 - 0{,}5) \cdot 7 \cdot 1000}{9{,}81 \cdot 0{,}01} = 75000 \ кг.$$

Вычислим $M_{опр,\,ср,\,к}$:

$$M_{опр,\,ср,\,к} = 75000 \cdot 0{,}01 + 50000 \cdot 0{,}5 = 25750 \ кг.$$

12. Среднее значение углового ускорения вращения танка от действия выстрела за время последействия газов

$$\varepsilon_{ср,\,к} = \frac{M_{опр,\,ср,\,к}}{I_т} = \frac{25750}{20000} = 1{,}29 \left(\frac{радиан}{сек^2}\right),$$

или в градусах

$$\varepsilon_{ср,\,к} = \frac{360^\circ}{2\pi} \cdot 1{,}29 = 73 \left(\frac{^\circ}{сек^2}\right).$$

13. Опрокидывающий момент от действия выстрела на танк во время отката после конца последействия газов (II период отката)

$$M_{опр.\,II} = R_{лаф} \cdot h = 50000 \cdot 0{,}5 = 25000 \ кгм.$$

14. Угловое ускорение вращения танка во втором периоде отката

$$\varepsilon_{II} = \frac{M_{опр,\,II}}{I_т} = \frac{25000}{20000} = 1{,}25 \left(\frac{радиан}{сек^2}\right),$$

а в градусах

$$\varepsilon_{II} = \frac{360^\circ}{2\pi} \cdot 1{,}25 = 72 \left(\frac{^\circ}{сек^2}\right).$$

15. Угловая скорость вращения танка от действия выстрела в момент вылета снаряда

$$\omega_д = \varepsilon_{ср,\,д}\, t_д = 77^\circ \cdot 0{,}01 = 0{,}77 \left(\frac{^\circ}{сек}\right).$$

16. Угловая скорость вращения танка от действия выстрела в момент конца последействия газов

$$\omega_к = \omega_д + \varepsilon_{ср.\,к}\, t' = 0{,}77 + 73 \cdot 0{,}01 = 1{,}5 \left(\frac{°}{сек}\right).$$

17 Угловая скорость вращения танка от действия выстрела в момент конца отката ствола

$$\omega_\lambda = \omega_к + \varepsilon_{II}\,(t_{от} - t_к) =$$

$$= 1{,}5 + 72\,(0{,}0485 - 0{,}02) = 3{,}55 \left(\frac{°}{сек}\right).$$

18. Угловое перемещение танка (поворот вокруг центра тяжести танка) к моменту вылета снаряда

$$\varphi_д = \frac{\omega_д}{2}\, t_д = \frac{0{,}77}{2} \cdot 0{,}01 = 0{,}00385° = 13{,}9'' \text{ (секунд)}.$$

19. Угловое перемещение танка к моменту конца последействия газов

$$\varphi_к = \varphi_д + \frac{\omega_д + \omega_к}{2} \cdot t' = 13{,}9'' + \frac{3600''\,(0{,}77 + 1{,}5)}{2} \cdot 0{,}01 =$$

$$= 13{,}9'' + 41'' = 55'' \text{ ('секунд)}.$$

20. Угловое перемещение танка к моменту конца отката ствола

$$\varphi_\lambda = \varphi_к + \frac{\omega_к + \omega_\lambda}{2}\,(t_{от} - t_к) = 55'' +$$

$$+ \frac{3600''\,(1{,}5 + 3{,}55)}{2} \cdot 0{,}0285 = 315'' = 5'15''.$$

21. Полное перемещение (откат) танка и время этого отката при $f = 0{,}10$

$$\lambda_т = \frac{V^2_{т,\,R,\,\lambda}}{2gf} = \frac{0{,}475^2}{2 \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}1} = 0{,}115 \text{ м} = 11{,}5 \text{ см};$$

$$t_{т,\lambda} = \frac{2\lambda_т}{V_{т,\,R,\,\lambda}} = \frac{0{,}23}{0{,}475} \approx 0{,}5 \text{ сек}.$$

§ 4. ВЫВОДЫ ИЗ РАЗОБРАННОГО ПРИМЕРА

1. Перемещения танка от действия выстрела за время движения снаряда по каналу ствола ($X_{т.д} = 0{,}5$ *мм*; $\varphi_д = 13{,}9''$) практически ничтожны и не влияют на процесс выстрела и на кучность и меткость стрельбы.

2. Ускорения от действия выстрела ($j_{R,т} \approx g$) **невелики и не могут явиться причиной, нарушающей условия обслуживания орудия во время стрельбы.**

Допустимо ускорение без опасности резких толчков для людей $j_{R,т} = (2 \div 3)g$ и даже более.

3. Перемещение танка за счет действия выстрела к концу отката ствола ($X_{т.л} = 11{,}5$ *мм*; $\varphi_л = 5',15''$) также практически не сказывается на работе танка, орудия и людей.

4. **Полное перемещение танка на горизонтальной площадке** за счет действия выстрела (длина отката танка), как видно из примера (11,5 *см*), также мало. Это перемещение обратно пропорционально коэффициенту трения f. Наибольший угол поворота танка до полного поглощения энергии колебания рессорами танка (амплитуда колебания) также невелик: для данного примера $\varphi_{тор}$ около 0,4°.

$$\varphi_{тор} = \frac{I_т \omega_л^2}{2П_р l_р} = \omega_л \sqrt{\frac{I_т}{C_у}} = 3{,}55 \sqrt{\frac{20000}{30 \cdot 50000}} = 0{,}4°.$$

5. Все расчеты противооткатных устройств танковых и самоходных пушек можно делать по общим формулам без введения каких-либо поправок на перемещение танка за счет действия выстрела.

6. Расчет цапф люльки и элементов подъемного механизма от действия выстрела для танковых и самоходных орудий также вести по общим формулам [1].

7. Для исключения значительных колебаний в угле возвышения и больших ускорений прицела за счет перемещения башни танка относительно корпуса танка следует обеспечивать возможно малые зазоры между башней и погоном башни.

8. При стрельбе с хода на работу орудия, на кучность и меткость стрельбы влияют только различные толчки, вызываемые неровностями местности и изменением в режиме работы двигателя, дающие ускорения танку.

Для хорошей стрельбы с хода достаточно танку быть на ровном участке дороги только доли секунды в моменты выстрела и соблюдать строго правила наводки. Очень полезно иметь стабилизацию (жироскопическую) орудия, чтобы его не сбивали с направления все колебания корпуса танка на ходу.

На любом наклонном участке местности стрельба также будет меткой, если исключать поперечный наклон оси цапф.

При наклоне цапф люльки следует либо вводить поправку, либо пользоваться качающимся прицелом.

Огромное значение в стрельбе имеет согласованность работы стреляющего с водителем машины. Водитель должен обеспечивать горизонтальность положения машины в момент выстрела и следить за тем, чтобы не было толчков во время стрельбы.

9. При стрельбе при углах возвышения более нуля на горизонтальном участке поступательное перемещение танка будет

[1] Для учета одновременного действия выстрела и ударов при движении на пересеченной местности запас прочности цапф и элементов подъемного механизма должен быть 4—5 по формулам без учета ударов.

меньше, чем при $\varphi = 0$, так как толкать машину назад будет не вся сила $R_{лаф}$, а только ее проекция на горизонт, т. е. $R_{лаф} \cdot \cos \varphi$.

10. При стрельбе с площадки, имеющей наклон к горизонту (γ), действие выстрела на танк всегда будет меньше, чем в разобранном примере ($\varphi = 0$, площадка горизонтальна), так как и в этом случае толкать машину назад будет не вся сила $R_{лаф}$, а только ее составляющая.

Для случая, когда площадка наклонена в сторону стрельбы, составляющая равна $R_{лаф} \cos(\varphi + \gamma)$, а когда площадка имеет подъем в сторону стрельбы, то составляющая равна $R_{лаф} \cos(\varphi - \gamma)$. Следует иметь в виду, что угол φ также может быть более нуля (возвышение) или менее нуля (склонение). Одним словом, в любом случае стрельбы сила, вызванная действием выстрела и толкающая машину в направлении, противоположном движению снаряда, не превышает силу $R_{лаф}$ (сопротивление откату ствола).

11. Все рассуждения о действии выстрела на танк применимы также и для случая стрельбы с самоходной артиллерийской установки, в которой качающаяся часть орудия крепится непосредственно в башне или в корпусе самохода.

12. При стрельбе с места во время наката орудия на танк (самоход) будет действовать сила $r_{лаф}$, которая, как известно из теории наката, меняет свой знак и в период торможения ствола будет толкать танк (самоход) в его исходное положение. Сила $r_{лаф}$ мала по сравнению с силой $R_{лаф}$ и ее действие совершенно не может вызывать какие-либо неудобства в работе танка.

13. Следует отметить, что благодаря действию выстрела на танк при откате произойдет дополнительная нагрузка половины рессор, а во время наката рессоры, приходя в нормальное состояние, качнут корпус танка в обратном направлении [1].

§ 5. ОБЩИЙ ВЫВОД

Благодаря большому весу танка (самохода) и наличию подрессоривания действие выстрела не вызывает резкого изменения в работе танка, а сама стрельба может быть весьма меткой, если имеется согласованная работа во время стрельбы всего экипажа танка (самохода).

При конструировании танка не требуется обеспечения устойчивости и неподвижности танка (самохода) в том смысле, как это требуется в полевой артиллерии. Достаточно обеспе-

---

[1] Колебательное движение танка успокаивается действием амортизаторов подвески и продолжается в существующих танках около 2—3 секунд. Танк успевает сделать до 2—3 колебаний.

чить небольшие ускорения, скорости и пути отката и угла поворота танка (самохода) при выстреле подобно величинам, разобранным в примере (и даже может быть больше).

При наличии дульного тормоза нагрузка танка от действия выстрела уменьшается пропорционально коэффициенту действия дульного тормоза $\eta_{дт}$.

При стрельбе с хода вперед по ходу танка сила трения $fQ_т$ направлена против движения танка, то есть в сторону действия силы $R_{лаф}$. Сила $fQ_т$, действуя ниже центра тяжести танка, стремится вращать танк вокруг центра тяжести в направлении, противоположном направлению вращения, вызываемого действием силы $R_{лаф}$.

Следовательно, при стрельбе с хода (вперед по ходу танка) колебания танка, вызываемые действием выстрела, будут частично погашаться действием силы трения, что весьма выгодно.

Величина колебаний танка (живая сила и амплитуда колебательного движения) при одном и том же значении силы $R_{лаф}$ и импульса ее действия сильно зависит от конструкции танка.

Следует всячески стремиться к уменьшению величины h — плеча силы $R_{лаф}$ относительно центра тяжести танка.

При стрельбе с места сила трения $fQ_т$ имеет направление, противоположное направлению силы $R_{лаф}$, и стремится вращать танк в том же направлении, что и сила $R_{лаф}$. Поэтому при стрельбе с места выгоднее (с точки зрения уменьшения колебаний) иметь силу $fQ_т$ поменьше, то есть нецелесообразно в этом случае тормозить гусеницы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Учебник по основаниям устройства материальной части артиллерии не может полностью исчерпать все вопросы, возникающие в практической деятельности офицеров артиллерийско-технической службы. В нем освещены основные принципы устройства и работы сложной современной материальной части. Все виды советской артиллерийской техники во всех ее деталях сконструированы и созданы советскими людьми и из отечественных материалов на отечественных заводах. Советская артиллерийская техника развивается в полном соответствии с бурным развитием советской науки и промышленности.

Овладеть всей техникой и умело использовать ее полностью невозможно без глубокого освоения теоретических основ работы всех механизмов. Изучение должно быть творческим, с непрерывным стремлением уяснить, почему так устроен тот или иной механизм, как лучше его использовать и что нужно сделать для дальнейшего совершенствования техники. При изучении техники следует сравнивать различные конструкции, стараться находить пути к улучшению действия и устройства механизмов.

Твердое освоение техники необходимо для того, чтобы иметь возможность самостоятельно решать самые сложные вопросы в боевой обстановке.

Особое внимание должно быть уделено изучению опыта Великой Отечественной войны. Вся боевая подготовка есть также накопление боевого опыта, ибо она ведется с учетом опыта войны, с настоящей боевой техникой и в условиях, приближающихся к боевым. Качество учебы в мирное время предопределяет успех в бою.

Основное назначение учебника — оказать помощь учащимся специальных учебных заведений и офицерам в деле повышения боеспособности советской артиллерии.

СПИСОК ОСНОВНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ПРИ НАПИСАНИИ УЧЕБНИКА

Ф. Энгельс. Избранные военные произведения, 1938 г.

В. В. Данилевский. Русская техника, 1948 г.

М. В. Ломоносов. Собрание сочинений, 1950 г.

Большая советская энциклопедия, 2-е издание.

Н. Ф. Дроздов. Сопротивление артиллерийских орудий и их устройство. Части I, II и III, 1932 г. и 1935 г.

К. Э. Циолковский. Труды по ракетной технике, 1947 г.

И. И. Иванов Основы расчета и проектирования лафетов, 1933 г.

Д. Е. Козловский. Курс артиллерии, 1941 г.

Д. Е. Козловский. Материальная часть артиллерии, 1939 г.

Д. Е. Козловский. История материальной части артиллерии, 1946 г.

Е. З. Барсуков. Русская артиллерия в мировую войну 1914—1918 гг.

Э. К. Ларман. Проектирование и производство артиллерийских систем. Часть I, 1949 г.

К. К. Гретен и *С. А. Приходько.* Проектирование и производство артиллерийских систем. Часть II, 1949 г.

А. Н. Куприянов. Проектирование и производство артиллерийских систем. Часть II, вып. 2, 1948 г.

А. А. Толочков. Действие выстрела на лафет, 1932 г.

К. И. Туроверов. Теория лафетов, 1938 г.

Н. Павленко. Русская артиллерия (1389—1812 гг.), 1940 г.

А. А. Благонравов. Основания проектирования автоматического оружия, 1940 г.

Д. К. Чернов. О выгорании каналов в стальных орудиях, 1912 г.

В. Н. Поддубный. Коррозия оружия и боеприпасов, 1946 г.

М. Сонкин. Русская ракетная артиллерия, 1952 г.

А. Е. Применко. Реактивные двигатели, их развитие и применение, 1947 г.

Н. Н. Никифоров. Боевое применение минометов, 1944 г.

Техническая советская энциклопедия.

Справочник машиностроения, 1951 г.

И. Н. Ананьев. Основы устройства прицелов, 1947 г.

М. Е. Серебряков. Внутренняя баллистика, 1949 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Стр.

От автора 3

Раздел первый

Краткий исторический обзор развития материальной части артиллерии. Тактико-технические требования, предъявляемые к материальной части артиллерии

Глава I. Развитие материальной части отечественной артиллерии 5

§ 1. Введение . . . . . —
§ 2. Зарождение русской огнестрельной артиллерии и состояние ее в XIV—XVI вв. 6
§ 3. Пути развития материальной части артиллерии в XVI—XVIII вв. 9
§ 4. Краткая характеристика артиллерийского вооружения капиталистических армий до Великой Октябрьской социалистической революции (с конца XVIII в. до 1918 г.) 12
§ 5. Краткая характеристика советской артиллерии в период иностранной военной интервенции и гражданской войны 1918—1922 гг. 22
§ 6. Краткая характеристика советской артиллерии в период строительства социализма в СССР 23
§ 7. Советская артиллерия в Великой Отечественной войне (1941—1945 гг.) 25

Глава II. Тактико-технические требования, предъявляемые к материальной части артиллерии 27

§ 1. Введение . . . . . —
§ 2. Общие требования, предъявляемые ко всем видам артиллерии . . . . . —
§ 3. Специальные требования, предъявляемые к некоторым видам артиллерии 38
§ 4. Абсолютные и относительные характеристики артиллерийских орудий 41

Раздел второй

Основания устройства орудийных стволов, казенников и затворов

Глава I. Общие сведения об устройстве орудийных стволов, напряжениях и деформациях в них 44

§ 1. Назначение ствола. Типы стволов . . . . . —

Стр.
§ 2. Требования, предъявляемые к орудийным стволам . . . 53
§ 3. О металлах для орудийных стволов (историческая справка) 54
§ 4. Напряжения и деформации в стенках ствола 57

Глава II. Понятие о проверочном расчете стволов-моноблоков . 66

§ 1. Предел упругого сопротивления моноблока при расчете по наибольшей деформации . . . . . —
§ 2. Общие указания о запасе прочности стволов 69
§ 3. Зависимость предела упругого сопротивления ствола-моноблока от толщины стенок ствола 71
§ 4. Порядок проверочного расчета ствола-моноблока . . . 72

Глава III. Скрепленные стволы 75

§ 1. Три рода давлений, напряжений и деформаций в скрепленных стволах (понятия) . . . . . —
§ 2. О натяжении при скреплении трубы с кожухом и о технологии сборки с натяжением 76
§ 3. Предел упругого сопротивления двухслойного скрепленного ствола 80

Глава IV. Стволы со свободными лейнерами и свободными трубами 82

§ 1. Основные особенности устройства стволов с лейнерами (свободными трубами) . . . . . —
§ 2. Предел возможного (или прочного) сопротивления ствола со свободным лейнером или со свободной трубой по тангенциальной деформации 83

Глава V. Самоскрепленные (автофретированные) стволы . . . 85

§ 1. Общие сведения . . . . . —
§ 2. Понятие о технологии самоскрепления 86
§ 3. Понятие о наклепе металла при самоскреплении . . . 88
§ 4. Диаграмма напряжений в самоскрепленной трубе . . . 89

Глава VI. Устройство нарезной части канала ствола и каморы орудия 91

§ 1. Определения . . . . . —
§ 2. Устройство нарезной части канала ствола 92
§ 3. Крутизна нарезов. Длина хода нарезов. Направление нарезов 94
§ 4. Сила давления боевой грани на выступ ведущего пояска 98
§ 5. Проверка на прочность полей нарезной части ствола и ведущего пояска снаряда 99
§ 6. Устройство камор 101
§ 7. Особенности устройства стволов с коническими каналами 105

Глава VII. Износ орудийных стволов и меры повышения их живучести 106

§ 1. Износ и омеднение орудийных стволов . . . . . —
§ 2. Основные причины износа стволов 110
§ 3. Мероприятия по повышению живучести орудийных стволов 113
§ 4. Об определении степени годности орудия к боевому использованию 116

Стр.
Глава VIII. Основания устройства казенников и затворов . . . 117
§ 1. Типы казенников и предъявляемые к ним требования —
§ 2. Понятие о расчете казенников на прочность 120
§ 3. Оценка различных типов казенников 123
§ 4. Назначение затворов и предъявляемые к ним требования 124
§ 5. Основные типы затворов . . . . . —
§ 6. Особенности устройства поршневых затворов 127
§ 7. Особенности устройства клиновых затворов 129
§ 8. Оценка различных конструкций затворов 130
§ 9. Об основных проверочных расчетах затворов на прочность . . . . . —
§ 10. Принцип действия пластического обтюратора для поршневых затворов при безгильзовом заряжании . . 131
Глава IX. Полуавтоматические затворы 136
§ 1. Определения. Основные механизмы автоматизации работы затворов. Основные требования. Классификация полуавтоматик . . . . . —
§ 2. Основные схемы полуавтоматических затворов наземной артиллерии 138
Глава X. Основные сведения об автоматических пушках . . . 147
§ 1. Классификация автоматических пушек . . . . . —
§ 2. Краткая характеристика механизмов автоматики малокалиберной зенитной автоматической пушки . . . 148
§ 3. Основные требования, предъявляемые к автоматическим наземным пушкам 150

Раздел третий

Основания устройства лафетов

Глава I. Краткий обзор развития отечественной теории лафетов 152
§ 1. Развитие отечественной теории лафетов до середины XIX в. . . . . —
§ 2. Развитие отечественной теории лафетов с середины XIX в. 154
Глава II. Общие основы устройства лафетов 157
§ 1. Назначение лафетов. Лафет как боевой станок . . . —
§ 2. Основные требования, предъявляемые к лафету как боевому станку 161
§ 3. Силы, действующие во время выстрела на орудие с жестким лафетом 162
§ 4. Условие устойчивости при выстреле орудия с жестким лафетом 163
§ 5. Условие неподвижности орудия с жестким лафетом при выстреле и определение реакций грунта на сошник и на колеса 168
§ 6. Определение реакций опоры на орудие с жестким лафетом и необходимых величин опорных поверхностей (примеры) 171
§ 7. Основные механизмы (части) современного упругого лафета 173
§ 8. Силы, действующие при выстреле на орудие с упругим лафетом 176

Стр.

§ 9. Условие устойчивости при выстреле орудия с упругим лафетом 180
§ 10. О предельном угле устойчивости орудия с упругим лафетом при выстреле 184
§ 11. Определение реакций опоры на неподвижные части лафета — на колеса и на сошник 186
§ 12. Вычисление необходимого веса орудия с упругим лафетом в боевом положении при учете условия устойчивости его во время выстрела 187
§ 13. Вычисление реакции на колеса и сошник орудия с упругим лафетом . . . . . —

Глава III. Свободный откат 189

§ 1. Определение свободного отката . . . . . —
§ 2. Зависимость между элементами движения снаряда и откатных частей . . . . . —
§ 3. Свободный откат во время периода последействия газов 192
§ 4. Действие дульных тормозов 196

Глава IV. Торможенный откат 205

§ 1. Силы, действующие на откатные части во время торможенного отката, и метод исследования движения . . —
§ 2. Основное уравнение движения откатных частей . . . —
§ 3. Определение скорости торможенного отката для любого момента движения 206
§ 4. Путь торможенного отката (при постоянном сопротивлении откату) в зависимости от времени 207
§ 5. Периоды торможенного отката и систематический расчет элементов торможенного отката при постоянной силе сопротивления . . . . . —
§ 6. Примеры на вычисление элементов свободного и торможенного отката (при постоянном сопротивлении откату) 211
§ 7. Определение скорости отката во втором периоде в зависимости от пути отката при постоянной силе сопротивления откату. Определение длины отката . . 213
§ 8. Определение необходимой величины постоянного сопротивления откату R для полного торможения откатных частей данного орудия на определенной длине отката (λ) 214
§ 9. Торможение отката переменным сопротивлением в полевых системах (определение силы R, скорости отката и времени отката) 215
§ 10. Определение длины отката при переменном сопротивлении откату 218
§ 11. Пример на расчет движения отката, торможенного переменной силой R 219
§ 12. Проверка возможности отката при стрельбе под наибольшим углом возвышения 220

Глава V. Классификация и основные схемы противооткатных устройств 223

§ 1. Классификация противооткатных устройств и требования, предъявляемые к ним . . . . . —
§ 2. Классификация накатников и основные схемы их устройства 224
§ 3. Классификация гидравлических тормозов и схемы их устройства. Компенсаторы жидкости в тормозах отката 229

Стр.

§ 4. Оценка различных конструкций противооткатных устройств 241

Глава VI. Расчет накатников 242

§ 1. Начальная сила накатника . . . . . —
§ 2. Расчет пружинных накатников 243
§ 3. Расчет гидропневматических накатников 250
§ 4. Понятие о регулировании скорости наката в зависимости от угла возвышения 257

Глава VII. Расчет гидравлических тормозов 260

§ 1. Гидравлическое сопротивление тормоза (вывод основной формулы — формулы Дурляхова) . . . . . —
§ 2. Расчет отверстия истечения жидкости для тормозов отката простейшего типа 263
§ 3. Гидравлическое сопротивление тормоза отката веретенного типа и определение отверстия истечения для основного потока жидкости 264
§ 4. Последовательность расчета размеров гидравлических тормозов 268
§ 5. Определение профиля канавок на веретене постоянного диаметра 270
§ 6. Особенности расчета отверстий гидравлических тормозов простейшего типа (канавочного, шпоночного и золотникового) 271
§ 7. Практические выводы из теоретических основ работы гидравлических тормозов 276
§ 8. Примеры расчета элементов гидравлических тормозов 278

Глава VIII. Накат 281

§ 1. Определение наката. Возможные ненормальности наката при неисправных или неотрегулированных противооткатных устройствах . . . . . —
§ 2. Силы, действующие на откатные части при накате . . 282
§ 3. Периоды наката 283
§ 4. Устойчивость орудия при накате 284
§ 5. Понятие о выкате или набросе орудия 288
§ 6. Деление длины наката на участки по периодам наката 289

Глава IX. Типовые схемы наката (особенности схем и области их применения) 291

§ 1. Общие указания . . . . . —
§ 2. Простейшая схема наката с двумя периодами. Накат в стационарных орудиях и в орудиях, заведомо устойчивых при накате . . . . . —
§ 3. Особый случай наката для устойчивых орудий (схема наката для заведомо устойчивых орудий) 295
§ 4. Накат в орудиях с ограниченной устойчивостью (три схемы) 297
§ 5. Учет сопротивления в накатнике 303
§ 6. Проверка штока тормоза на прочность 304

Глава X. Жидкости для наполнения противооткатных устройств. Уплотнительные и сальниковые устройства. Проверка противооткатных устройств 306

§ 1. Жидкости для наполнения противооткатных устройств (гидравлических тормозов и гидропневматических накатников) . . . . . —

Стр.

§ 2. Уплотнительные и сальниковые устройства в тормозах отката и накатниках 308
§ 3. Проверка гидропневматических накатников и гидравлических тормозов 313
§ 4. О количестве жидкости в тормозе отката 315
§ 5. О работе противооткатных устройств при неправильном наполнении тормоза отката жидкостью 316
§ 6. График для проверки количества жидкости в накатнике 317

Глава XI. Особые виды артиллерийских орудий 319
§ 1. Системы с двойным откатом (с разложением отката) . —
§ 2. Системы с выкатом 320
§ 3. Безоткатные системы типа ДРП (пушки Трофимова) . 323

Глава XII. Основные сведения о механизмах наводки орудия 327
§ 1. Типы механизмов наводки . . . . . —
§ 2. Основные требования, предъявляемые к механизмам наводки 331
§ 3. Принципиальные схемы осуществления горизонтальной наводки орудия 332
§ 4. Основные сведения из механики о работе механизмов наводки 333
§ 5. Определение необходимых усилий на маховике механизма наводки 339
§ 6. Тормозные приспособления в подъемных и в поворотных механизмах. Мертвые хода в механизмах наводки . . . 341

Глава XIII. Уравновешивающие механизмы 344
§ 1. Назначение уравновешивающих механизмов . . . . . —
§ 2. Типы уравновешивающих механизмов 346
§ 3. Схемы уравновешивающих механизмов . . . . . —
§ 4. О регулировке уравновешивающих механизмов 351

Глава XIV. Усилия, возникающие в различных частях орудия при стрельбе 353
§ 1. Определение реакций и сил трения на направляющих люльки и на захватах ствола . . . . . —
§ 2. Усилие на зубьях сектора подъемного механизма и на цапфах люльки во время выстрела 356
§ 3. Реакции, действующие во время выстрела на вращающуюся часть орудия 358
§ 4. О расчете станин лафета 360

Глава XV. Лафет как повозка 363
§ 1. Деление лафетов на группы в зависимости от приспособленности их к передвижению . . . . . —
§ 2. Требования, предъявляемые к лафету как повозке . . —
§ 3. Понятие о некоторых конструктивных мероприятиях, обеспечивающих выполнение требований, предъявляемых к лафету как повозке 366
§ 4. Устройство ходовых частей орудия 370

Раздел четвертый

Прицельные устройства

Глава I. Исторический обзор развития отечественных артиллерийских прицелов 376
§ 1. Развитие отечественных артиллерийских прицелов до появления нарезной артиллерии . . . . . —

Стр.
§ 2. Прицелы русской нарезной артиллерии 381
§ 3. Артиллерийские прицелы русской артиллерии в XX в. (досоветский период) 384
§ 4. Прицелы зенитной артиллерии (досоветский период) . . 386
§ 5. Артиллерийские прицелы советской артиллерии 388

Глава II. Общие основы устройства прицелов наземной артиллерии 389
§ 1. Сущность наводки и ее виды . . . . . —
§ 2. Терминология и определения 391
§ 3. Основные тактико-технические требования, предъявляемые к прицельным устройствам 396
§ 4. Основные части прицельных устройств 397
§ 5. Классификация прицелов (прицельных устройств) . . 398
§ 6. Типы визирных устройств 400
§ 7. Различные виды механических прицелов 403
§ 8. Оптические прицелы 413
§ 9. Прицелы зависимые и не зависимые от орудия 418
§ 10. Назначение поперечного уровня и принципиальная схема качающегося прицела 419
§ 11. Прицелы с независимой, полунезависимой и зависимой линиями прицеливания 421
§ 12. Применение прицелов с различной степенью зависимости линии прицеливания 423
§ 13. Связь между точностью наводки и зависимостью линии прицеливания 424
§ 14. Влияние наклона оси цапф люльки (или оси, вокруг которой вращается качающаяся часть орудия) на наводку орудия 427
§ 15. О направлении отклонений линии выстрела при наклоне оси цапф люльки 431
§ 16. Преимущество качающихся прицелов 432
§ 17. Прицел с автоматическим учетом деривации 433
§ 18. Шкалы прицельных устройств 436
§ 19. О точности шкал и прицелов со стрелками 439
§ 20. Понятие о приборах ночного видения 440

Глава III. Краткие сведения о некоторых прицелах 442
§ 1. Нормализованный прицел обр. 1930 г. . . . . —
§ 2. Прицел 76-*мм* пушки обр. 1942 г. 444
§ 3. Телескопический шарнирный прицел типа ТШ и прицелы самоходной артиллерии . . . . . —
§ 4. Погон-угломер 447

Глава IV. Понятие о прицелах зенитной артиллерии 448
§ 1. Приборы наведения зенитного орудия, связанные с центральным прибором управления зенитным огнем . —
§ 2. Автоматические прицелы зенитной артиллерии 449

Глава V. Проверка прицельных устройств 453
§ 1. Виды проверок прицельных устройств . . . . . —
§ 2. Сущность и методы основных проверок прицельных устройств 455

Раздел пятый

Минометное и реактивное вооружение

Глава I. Минометное вооружение 463
§ 1. Тактико-техническая характеристика минометов . . . . —
§ 2. Транспортные средства для перевозки минометов . . . 468

Стр.
Глава II. Реактивное вооружение 471
§ 1. Краткий исторический очерк развития реактивного вооружения . . . . . —
§ 2. Принцип устройства и действия реактивных снарядов 473
§ 3. Основная формула для расчета реактивного движения — формула К. Э. Циолковского 475

Раздел шестой

Понятие о действии выстрела на танк (самоход)

§ 1. Общая картина действия выстрела на танк 477
§ 2. Определение элементов движения танка, вызванных действием выстрела . . . . . —
§ 3. Пример на определение действия выстрела на танк 483
§ 4. Выводы из разобранного примера 486
§ 5. Общий вывод 488
Заключение 490
Список основной литературы, использованной при написании учебника 491

Инженер-полковник Садовский Валентин Георгиевич

Основания устройства материальной части артиллерии

Редактор гв. полковник **Галиенко С. Г.**

Технический редактор **Коновалова Е. К.** Корректор **Смирнова З. В.**

Сдано в набор 22.10.55 Подписано к печати 23.1.56

Формат бумаги 60×92¹/₁₆ — 31¹/₄ печ. л. = 31,25 усл. печ. л. 26,662 уч.-изд. л.+1 вкл. ¹/₄ п. л. = 0,25 усл. п. л. Г-22084

Военное Издательство Министерства Обороны Союза ССР.

Москва, Тверской бульвар, 18.

Изд. №. 3/8159 Заказ № 3498

2-я типография имени К. Е. Ворошилова Управления Военного Издательства Министерства Обороны Союза ССР

Ленинград, 65, почтовый ящик № 343

Цена 10 р. 35 к.

Перед пользованием книгой внести следующие исправления:

Страница	Строка	Напечатано	Должно быть
33	3 снизу	противотанковых	противооткатных
137	17 сверху	откате	накате
462	2 снизу	киле	нуле

Изд. № 3/8159. Зак. № 3498